



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun–Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Nutrition et Technologie Agro-Alimentaire

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie (D04)

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Sciences du sol

Présenté par :

- BENAMARA Khaled
- BEN ELHADJ Abd EL Latif.
- BEN AOUALI Boumediene.

Thème

**Effet de la pouzzolane et les fibres de palmier dattier
sur le substrat horticole du fraisier (*Fragaria
ananassa*) cultivé hors sol**

Jury :

Grade

- | | |
|--------------------------------|-------------|
| ✓ Promoteur : Mr METTAI K. | M.A.A. |
| ✓ Co-promoteur : Mr LATIGUI A. | Professeur. |
| ✓ Président : Mme SOUALMI S. | M.C.A. |
| ✓ Examineur : Mr FETTOUHI B. | M.C.B. |

Année universitaire : 2019_2020

Remerciements ∞

*En premier lieu, nous remercions **Dieu** le tout Puissant pour nous avoir accordé le courage, la force et la patience de mener à bien ce modeste travail.*

Nous remercions de tous nos cœurs nos parents qui nous avons soutenus et qui continueront à nous soutenir dans tous les projets que nous entreprendrons.

*Mes remerciements vont également à notre promoteur **Mettai Kamel**, qui nous a toujours accueilli à bras ouverts et à tout moment, de nous avoir assisté le long de la réalisation du travail, qu'il trouve ici nos sincères gratitude et nos profondes reconnaissances pour tous les efforts qui ont été déployés dans ce sujet, ainsi que de sa compréhension et sa patience.*

*Nous remercions Monsieur Co-promoteur **latigui Ahmed**. Pour leur présence, ainsi que pour son soutiens et les informations qui il nous a données tout au long de notre travail.*

*Nous profitons aussi de cette occasion solennelle pour adresser nos remerciements à toute **nos familles** qui nous ont toujours encouragés et soutenu tout au long des années de notre étude.*

Nous remercions enfin tous ceux qui n'ont pas été cités dans ces quelques lignes et qui ont contribué de près ou de loin par leur aide au bon déroulement de ce travail.

*Que nos vifs remerciements aillent à **Mme SOUALMI S.** qui nous a fait l'honneur de présider ce travail, et **Mr FETTOUHI B.** pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

*Un grand merci à **Mme BOUCHNAFA.** chef de spécialité de sciences du sol pour son aide précieux,*

Nous tenons, donc, à remercier tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, nous ont aidé pendant notre étude de fin de cycle. Certains par leurs conseils et leurs connaissances scientifiques, d'autres par leurs présences dans les moments les plus pénibles.

Dédicace

Je remercie avant tout Allah de m'avoir aidé à réaliser ce présent travail.

Je tiens vivement, à dédier ce travail en signe de respect et de reconnaissance à :

A ma chère Maman, Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour

l'affection que tu m'as toujours donné.

*A mon cher frère Habibou et sa femme, et mes neveux Abderrahmane et Sid Ahmed et
ma nièce Alaa.*

A mes chers frères, Sid Ahmed que dieu ait pitié de toi, et Youcef et à mes chères sœurs.

A mon frère Ahmed et sa femme, mes neveux Younes et Anes et mes nièces Nour El yakine.

Et Wissal.

A mes chers amis : Youcef_ Missoum_ Amine_ Khaled_ Abbas_ Denia_ Sihem.

A toute la promotion de Sciences du sol 2019 /2020.

Khaled



Dédicace

Je remercie avant tout Allah de m'avoir aidé à réaliser ce présent travail.

Je tiens vivement, à dédier ce travail en signe de respect et de reconnaissance à

A ma chère mère et mon cher père pour ses sacrifices.

A mes frères et sœurs : Fethi_Mohamed_Ikram_siham.

A ma fiancée Aya.

A mes Chères plus proches : Ilyes_Habibe.

A mes amis de l'université.

Abd El Latif



Dédicace

Je remercie avant tout Allah de m'avoir aidé à réaliser ce présent travail.

Je tiens vivement, à dédier ce travail en signe de respect et de reconnaissance à :

A ma mère et mon père pour tous leur soutien et pour m'ont donné l'amour, la tendresse, l'éducation et sens de vivre.

A mes sœurs et mes frères Malik_ Mohamed _ Adem.

A mes amis et collègues de l'université.

Boumediene



Liste des abréviations.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Sommaire

Introduction 1

Partie I : Etude bibliographique

Chapitre I : Culture hors sol et substrats

1. Généralité	5
1.1. Historique	6
1.2. Le but de la culture hors sol.....	6
1.3. Progression de la culture hors sol.....	7
1.3.1. Dans le monde.....	7
1.3.2. En Algérie	7
2. Les systèmes de culture hors sol	7
2.1. Système sans substrat	8
2.2. Culture sur substrats	8
3. Avantages et inconvénients des cultures hors sol	8
3.1. Les Avantages des cultures hors sol.....	8
3.2. Inconvénients et contraintes des cultures hors sol.....	9
4. Substrats de culture	9
4.1. Définition de substrat.....	9
4.2. Les différents substrats	9
4.3. Utilisation	9
4.4. Les Pouzzolanes	9
4.4.1. Types de pouzzolane.....	9
4.4.1.1. Pouzzolane naturelle	9
4.4.1.2. Pouzzolane artificielle	10
4.4.2. Couleur des pouzzolanes	10
4.4.3. Différentes utilisations de la pouzzolane	11
4.4.3.1. L'agriculture.....	11
4.4.3.2. Applications routières	11
4.4.3.3. Dans l'industrie	12
4.4.4. Composition chimique	12

Sommaire

4.4.5. Caractéristiques physiques	12
4.4.6. Propriétés de la pouzzolane	13
4.5. Les fibres de palmier dattier	13
4.5.1. Généralités sur le palmier dattier	13
4.5.2. Morphologie du palmier dattier	13
4.5.2.1. Le système racinaire (sous-sol)	13
4.5.2.2. Partie aérienne	14
4.5.3. Les fibres de palmiers dattier	15
4.5.3.1 Domaine de construction.....	16
4.5.3.1 Domaine d'agriculture.....	16
4.5.4. Variétés de palmier dattier en Algérie	17

Chapitre II : Caractéristiques des substrats horticoles

1. Substrats	19
1.1. Définition.....	19
1.2. Caractéristiques techniques des substrats	19
1.2.1. Propriétés physiques	19
1.2.2. Propriétés chimiques	20
a) pH.....	20
b) Conductivité électrique (CE ou EC)	21
1.2.3. Propriétés biologiques	22
1.2.4. Propriétés mécaniques	23

Chapitre III : Culture des fraises

1. Historique	25
2. Description et caractéristiques de la fraise	27
2.1. Définition.....	27
2.2. Structure.....	27
2.3. Classification botanique	27
2.4. Description fraise.....	28
2.4.1 Caractéristiques physiques	28
2.4.2 Caractéristiques organoleptiques	28
2.4.3 Caractéristiques de composition (hors macronutriments, vitamines et minéraux) ..	29
3. Fraise en culture hors sol et pilotage de la culture	30
4. Culture sous abri.....	31
5. Systèmes de production.....	32

5.1. Avec terreau.....	32
5.2. Irrigation et fertilisation.....	32

Partie II : Etude expérimentale

Chapitre I : Matériels et Méthodes

1. But de l'essai	36
2. Matériels utilisés	36
2.1 Caractéristiques de labri-serre	36
2.2 Matériel végétal	37
2.3 Substrats.....	38
2.3.1 La terre végétale.....	38
2.3.2 Pouzzolane	39
2.3.4 Fibres de palmier dattier	39
2.3.5 Terreau commercial	40
2.4 Caissons ou containers.....	40
2.5 Appareillage pour mesures dans la serre	40
2.6 Produits utilisés pour la préparation de la solution nutritive	40
2.7 Traitement phytosanitaire	43
3. Protocole expérimental	43
3.1 La conduite de culture sous serre	45
3.1.1 Préparation des substrats.....	45
3.1.2 Mise en pot de substrats	45
3.1.3 Plantation	45
3.1.4 Irrigation	46
3.1.5 Mesures et Observations	46
4. Evaluation des paramètres étudiés	47
4.1 Propriétés physiques	47
4.1.1 Taux d'humidité ou Matière fraîche	47
4.1.2 Pourcentage de drainage	47
4.2 Propriétés chimiques.....	47
4.2.1 pH.....	47
4.2.2 Électro conductivité ou conductivité électrique.....	48
4.3 Paramètres morphologiques	48
4.3.1 Longueur des racines	48
4.3.2 Volume des racines	48

4.3.3 Distribution des racines.....	48
4.3.4 Poids des fruits.....	49

Chapitre II : Résultats et discussion

1. Caractéristiques physico-chimiques des traitements	50
1.1 Caractéristiques physiques	50
1.1.1 Taux d'humidité et matière sèche des traitements.....	50
1.1.1 Densité apparente.....	51
1.1.1 Pourcentage de drainage (VSD/VSA)	52
1.2 Caractéristiques chimiques des substrats	53
1.2.1 Conductivité électrique (EC) et pH de drainage	53
1.2.1.1 EC de drainage avant la fertilisation	53
1.2.1.2 pH de drainage avant fertilisation	55
1.2.1.3 EC de drainage après fertilisation	56
1.2.1.4 pH de drainage après fertilisation.....	58
2. Etude Morpho-physiologie de fraise (plante et fruits)	60
2.1 Système racinaire.....	60
2.1.1 Longueur des racines	60
2.1.2 Volume des racines	61
2.1.3 Distribution des racines.....	62
2.1.4 Poids des fruits.....	63
2.1.5 Matière sèche des racines.....	65
3. Température et Humidité dans la serre (Mois de Mai)	66
Conclusion générale	68

Références bibliographiques.

Annexe.

Résumé

Liste des abréviations

A : Argile.

C/N : rapport carbone/azote.

CA : Calcaire actif.

CE : conductivité électrique.

CT : Calcaire totale.

HNO₃ : acide nitrique.

HR : humidité relative

Lf : Limon fin.

Lg : Limon grossier.

MO : Matière organique.

MS : matière sèche.

MSR : matière sèche racinaire.

N.F.T : Nutriment Film Technique

pH : potentiel d'hydrogène.

Sf : Sable fin.

Sg : Sable grossier.

TH : Taux d'humidité.

TR: terreau commercial.

VSA : volume de la solution d'apport.

VSD : volume de la solution de drainage.

Liste des tableaux

Tableau n° 01: Composition chimique de la pouzzolane	12
Tableau n° 02 : Caractéristique physique de la pouzzolane	12
Tableau n° 03 : Principale propriété physicochimiques du compost à base de fibres de palmier dattier	17
Tableau n° 04 : relation entre CE, qualité des sols et rendement	22
Tableau n° 05 : les caractéristiques physiques et chimiques de la terre végétale	38
Tableau n° 06 : Concentration des Macro éléments en g/l et en mg/l dans chaque bidon selon le pourcentage	42
Tableau n° 07 : Concentration des oligo-éléments en mg/l dans chaque bidon selon le pourcentage	42

Liste des figures

Figure n° 01: Différent couleurs des pouzzolanes (noir et rouge)	11
Figure n° 02: Racines du palmier dattier	13
Figure n° 03: Vue d'ensemble et constituants du palmier dattier	14
Figure n° 04 : A gauche, le cornaf enfouie dans le liffé. A droite la fibre palmier.....	15
Figure n° 05: Tourbe à base de la fibre palmier dattier.....	16
Figure n° 06 : Porosité et différents phases dans un substrat.....	20
Figure n° 07 : Teneur en air et Hauteur de pot.....	20
Figure n° 08 : Vue générale du fraisier	26
Figure n° 09: structure de fraise (fruit)	27
Figure n° 10: multiplication végétative de fraisier par la production de stolons	28
Figure n° 11 : Deux couleurs de fraise : rouge et blanc	29
Figure n° 12 : Apport calorique et répartition des micro et macronutriments de la fraise.....	30
Figure n° 13: Tunnels pour fraise.....	31
Figure n° 14 : Culture hors sol intensive des fraises (Variété Gariguette).....	33
Figure n° 15 : Serre de la faculté de science de la nature et de la vie de karman –Tiaret –....	37
Figure n° 16 : Plants de fraise utilisée, pépinière de la W. de Tipaza.....	37
Figure n° 17 : terre végétale utilisée (région de Jumentrie, Tiaret)	38
Figure n° 18 : Fibre palmier (région d'Elghrouss, W. de Biskra).....	39
Figure n° 19 : engrais 13-13-13 et sa couleur verte claire	41
Figure n° 20 : Oligo-éléments et sa couleur marron foncé	41
Figure n° 21 : Organigramme globale de l'étude.....	44
Figure n° 22: Taux d'humidité (%).....	50
Figure n° 23: Matière sèche (%)	50
Figure n° 24 : Densité apparente	51
Figure n° 25: pourcentage de drainage (VSD / VSA).....	52
Figure n° 26 : EC de drainage avant fertilisation (25 jours après plantation).....	53
Figure n° 27: EC de drainage (2 jours avant la fertilisation)	53
Figure n° 28 : plante de fraise avant fertilisation	54
Figure n° 29 : pH de drainage avant la fertilisation (25 jours après plantation)	54
Figure n° 30 : pH de drainage (2 jours avant la fertilisation).....	55
Figure n° 31 : EC de drainage après fertilisation	56
Figure n° 32 : EC de drainage après 15 jours de fertilisation	56

Figure n° 33: pH de drainage après fertilisation	57
Figure n° 34 : pH de drainage après 15 jours de fertilisation.....	58
Figure n° 35: plante de fraise après fertilisation	58
Figure n° 36: Pollinisation de fraise par les abeilles et les bourdons.....	59
Figure n° 37: longueur des racines (cm) de Fraise.....	59
Figure n° 38 : Volume des racines (ml)	60
Figure n° 39: Forme et longueur des racines, de gauche à droite	61
Figure n° 40: Distribution des racines de la plante de fraise.....	62
Figure n° 41: Fruits maturés du fraisier	62
Figure n° 42: Poids des fruits maturés	63
Figure n° 43: Meilleur fruit en fonction du Traitement et solution.....	63
Figure n° 44: Meilleures plantes	64
Figure n° 45: % de la MS des racines	65
Figure n° 46 : Température dans la serre à 15H du soir (Mois de Mai)	66
Figure n° 47 : Humidité relative dans la serre à 15H du soir (Mois de Mai).....	66

Introduction

Introduction

L'idée de cultiver en hors sol, est apparue depuis longtemps (comme une méthodologie pour établir les mécanismes de l'absorption racinaire des éléments minéraux, et pour étudier le fonctionnement des plantes. Cependant au cours des dernières décennies, cette méthode s'est largement répandue. Elle est devenue indispensable dans la production végétale. Les cultures hors sol se définissent comme des cultures où les végétaux effectuent leur cycle complet de production sans que le système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, qui est le sol complet. Les racines sont ainsi continuellement alimentées par un milieu liquide minéral qui est la solution nutritive et qui apporte l'eau, l'oxygène dissous et les éléments minéraux indispensables (**Morard., 1995**).

En réalité, la découverte des cultures hors sol doit être attribuée à deux chercheurs allemands Knop et Sachs. Simultanément en 1860 et de manière indépendante, ces deux chercheurs ont réussi à faire pousser des plantes sur des milieux entièrement liquides constitués d'eau additionnée de sels minéraux. Plus tard, dans les années 50, certains organismes de recherches en France, en Hollande et aussi des professionnels comme Milland s'intéressaient aux applications horticoles des cultures hors sol, mais il ne s'agit encore que d'étape de pré-développement. Enfin, le véritable développement des cultures hors sol date des années 1975-1980 : À un rythme très soutenu cette technique s'implantait dès lors en Europe surtout pour les cultures sous serre. Ainsi, depuis une quinzaine d'années, les surfaces et la nature des espèces concernées n'ont cessé d'augmenter (**Morard., 1995**).

Donc, cette culture appelé culture hors sol, l'hydroponie ou culture hydroponique est réalisé sur un substrat horticole ou directement dans une solution nutritive et par plusieurs méthodes cités dans la partie bibliographique. Le substrat peut être d'une origine minérale ou organique (naturel ou industriel), il doit être neutre et inerte comme du sable, de l'argile, de la pouzzolane, de la fibre palmier ou de coco, de la laine de roche et la perlite par exemple. Ce nouveau mode de culture a remplacé d'une manière progressive la culture traditionnelle d'un certain nombre de légumes dans le monde entier.

Ici, dans notre travail, la recherche de nouveaux substrats qui ont des propriétés physico-chimiques pertinentes à un prix faible ou même gratuit et selon d'autres travaux antérieurs (**Kasmi et al., 2012**), nous a dirigé vers deux substrats abandonnées gratuits et que se trouve en immense quantité ici en Algérie, l'un de l'ouest et l'autre dans le sud. Ces deux substrats sont : la pouzzolane et la fibre de palmier dattier. Le premier nous

Introduction

l'avons ramené de Béni Saf (30 km d'Aïn Témouchent), par contre les fibres palmier à partir de la commune d'EL Ghrous (50 km de Biskra). Ces deux substrats abandonnés en mélange avec la terre végétale consistent la base de notre modeste travail.

Notre travail donc, consiste à étudier un nouveau type de culture hors sol dans une abri-serre avec un pilotage quotidien de cette culture et voir quelques paramètres physico-chimiques et morphologiques qui donnent une idée sur l'absorption et l'assimilation des éléments nutritifs (engrais et oligo-éléments) ainsi que développement des plantes et racines jusqu'à le stade de fructification. Pour cela, on a choisi trois mélanges différents qui ont des pourcentages équilibrés et proches plus le témoin (terreau commercial). Nos substrats sont : les fibres palmier, la pouzzolane et la terre végétale.

On peut dire aussi que le but et l'objectif de notre culture est de voir la relation entre la fertilisation avec trois solutions nutritives préparés qui ont les concentrations (70, 100 et 130 %), les traitements et la variation de ces paramètres (Matière sèche, Taux d'humidité ou matière fraîche, densité apparente, pourcentage de drainage, pH, CE, longueur des plantes et racines, volume racinaire, poids des fruitsetc.). C'est-à-dire la combinaison entre : La solution nutritive – le substrat – espèce cultivé (fraise) qui donne le ou les meilleurs résultats. Le terreau est considéré comme un Témoin.

Donc, notre travail est partagé en deux parties. La première a été consacrée à une recherche bibliographique détaillée. Elle est divisée en trois chapitres : le premier et le deuxième, un aperçu sur les cultures hors sol et les différents substrats, les systèmes horticoles et ses différents types, les avantages et les inconvénients des substrats et de la culture hors sol ainsi que les caractéristiques des substrats horticoles.

Le troisième chapitre est pour l'étude bibliographique des fraises et du fraisier, sa morpho-physiologie et sa culture sous serre et sous abri.

La deuxième partie devisée en deux chapitres, matériels et méthodes et résultats et discussion ou on a essayé d'analyser et interpréter nos résultats à base des moyennes statistiques. Enfin, une conclusion générale.

Partie I

Etude bibliographique

Chapitre I

Culture hors sol et substrats

1. Généralité

Le terme « culture hors-sol » signifie littéralement « faire croître des plantes sans sol » Une définition plus complète nous est donnée par l'international society for soilless culture qui décrit ces cultures comme étant "une technique de croissance de végétaux non aquatique dont les racines plongent dans un milieu entièrement organique ou inorganique, et sont alimentées grâce à une solution nutritive" (**Maxwell, 1986**).

(**Morard, 1995**) définit les cultures hors sol comme des « cultures des végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol ». Cette technologie de production végétale caractérisée par une alimentation minérale des racines avec une solution nutritive ne nécessitant pas de support solide. Si, par contre, un support est utilisé, celui-ci est qualifié du terme général de « substrat », (**Yves, 2008**).

Au sens strict, la culture hors-sol est la culture dans un milieu racinaire qui n'est pas le sol naturel, mais un milieu reconstitué et isolé du sol. On parle souvent de cultures sur substrat, car ce milieu reconstitué repose souvent sur l'adoption d'un matériau physique stable : le substrat, parfois d'origine manufacturé et industriel, parfois d'origine naturelle. Il existe des cas de culture hors-sol n'utilisant pas des substrats : cultures sur film d'eau ou hydroponiques : l'aéroponie, dans lequel des racines sont placées dans un brouillard nutritifs (**Urban, 2010**). "Hydroponie" tire ces racines de deux mots grecs : hydro pour l'eau et ponos pour travail ou l'effort (**Dudley, 1983**).

En culture hors-sol, une multitude de matériaux sont disponibles afin d'élaborer un substrat de culture. Ils peuvent être de nature inorganique ou organique. Le substrat de culture est généralement un mélange de plusieurs de ces composés, en proportions précises, afin de lui conférer des propriétés optimales de culture. Le choix des composés intégrés dans le mélange dépend de plusieurs facteurs, comme la rétention d'eau, l'aération, la masse, le coût, la disponibilité, etc.

Comme composés de nature inorganique, on trouve le sable, le tuf (roche volcanique), la pierre ponce, la perlite, la vermiculite, les granules d'argile expansée, la zéolite et la laine de roche (**Papadopoulos et al., 2008**). Les fibres, les écorces et les sciures de bois, la tourbe, la fibre de coco et le compost sont des composés organiques courants (**Maher et al., 2008**). Évidemment, d'autres matériaux peuvent également être utilisés, telles les écailles de riz, mais

ils sont plus inhabituels. Finalement, il existe des composés organiques synthétiques, comme le polyuréthane, le polystyrène et le polyester (**Papadopoulos et al., 2008**).

La connaissance des proportions de particules fines et grossières contenues dans chaque mélange de substrat permet de mieux comprendre plusieurs de ses propriétés, comme sa rétention en eau, sa porosité et son aération (**Wallach, 2008**). De plus, la mesure de la répartition des particules en début de culture et à la fin de celle-ci donne un indice de la stabilité du substrat dans le temps.

En culture hors-sol, la gestion précise de l'irrigation revêt une importance capitale, compte tenu du faible volume de substrat disponible pour la rétention d'eau et du fait que la culture est à l'abri de la pluie. De plus, l'irrigation est essentielle pour lessiver les sels qui s'accumulent dans le substrat suite à son assèchement graduel. En culture hors-sol la gestion de l'irrigation par tensiomètre est possible et peut augmenter les rendements, mais les seuils de déclenchement doivent être déterminés en fonction de la culture, du substrat de culture et de la hauteur de sol (**Lemay et al. 2012**).

1.1. Historique

La culture en hydroponique a été lancée par les Etats Unis pendant la deuxième guerre mondiale pour répondre aux besoins de leurs armées en légumes frais. La technique du hors sol a été introduite en Europe dans les années 70 ; appliqués à quelques cultures maraichères et florales sous serres, elle s'est ensuite développée à un rythme rapide (**Thiault , 2004**). La culture hors sol a été initialement une technique de laboratoire visant à étudier en détail le fonctionnement des plantes (**Robin ,1998**).

En Algérie l'initiation à la culture hydroponique sur deux solanacées fruits (tomate, poivron) a pu mettre en évidence par les travaux de **Djoudi** et **Snoussi** en **1979** et **1980** respectivement (**Snoussi, 1980**).

1.2. Le but de la culture hors sol

Le principal objectif visé par l'utilisation des cultures hydroponiques par l'utilisation d'une solution nutritive contenant tous les éléments nécessaires (macro et micro éléments) est d'avoir une très bonne croissance et développement d'une plante (**Snoussi, 1980**).

Selon (**Jeannequin , 1992**) les cultures hydroponiques sont développées pour :

- ✓ Eviter la fatigue rapide du sol de serre à cause des attaques parasitaires avec prolifération des nématodes et des champignons.
- ✓ Elles offrent la possibilité d'implanter des serres à des endroits où l'énergie est moins couteuse.
- ✓ Elles permettent de contrôler très précisément l'environnement racinaire assurant une précocité plus grande et une production en quantité et qualité.

1.3. Progression de la culture hors sol

1.3.1. Dans le monde

En Europe, quatre pays concentrent la quasi-totalité des cultures hors sol sous serres. Ce sont les Pays-Bas, qui en possèdent les grandes surfaces, suivis de la France, la Belgique et la Grande-Bretagne. Il s'en trouve aussi en Suisse et dans certains pays de l'Est. Dans les autres pays, les surfaces les plus importantes sont recensées au Japon et Afrique du sud (Thiault , 2004).

En particulier dans le bassin méditerranéen, et plus généralement dans les régions pénalisées par le manque d'eau (Urban, 1997).

1.3.2. En Algérie

La situation des cultures hydroponiques en Algérie n'évolue guère si ce n'est qu'elle reste au stade expérimental dominé par quelques travaux de recherche.

En Algérie, la première expérience de culture hors sol a été la mise en place d'un système hydroponique à Beni-Abbes, au Sahara. Le but de ces travaux portait exclusivement sur l'étude de substrats sableux locaux (Chouard et Renaud, 1961).

Malgré le grand potentiel que nous possédons pour les cultures hydroponiques, les cultures hors sol restent peu développées. Elles se limitent à une seule entreprise (Ceviagro) du groupe Cevital qui produit en hors sol ne dépassant pas les 100 ha.

2. Les systèmes de culture hors sol

Tout système de culture hors sol est caractérisé par trois composantes matérielles :le conteneur, le substrat (inerte) et le réseau de distribution de la solution nutritive

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tous matériaux naturel ou artificiel placé en conteneur pur ou en mélange et permet l'encrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support (**Blanc, 1987**).

2.1. Système sans substrat

Les systèmes de culture sans substrat sont considérés comme plus simples puisqu'ils mettent directement en contact la solution nutritive et les racines de la plante : ils évitent donc l'emploi de substrat et les contraintes qu'il occasionne (mise en place, renouvellement).

Cette dernière technique facilite la désinfection des installations. Cependant, on doit résoudre les difficultés d'alimentation en oxygène des racines. En effet ; une solution nutritive seule ne contenant pas assez d'oxygène dissous nécessite un dispositif pour l'enrichir, pour cela, il existe trois dispositifs différents : l'Aquiculture, la Nutrient Film technique (NFT), et l'Aéroponique (**Morard, 1995**).

2.2. Culture sur substrats

La technique de culture sur substrat est la plus utilisée à ce jour ; elle fait appel à un support solide qui contribue à l'oxygénation du système racinaire entre deux irrigations. C'est la technique qui se rapproche le plus de ce qui se passe dans le sol pour une culture traditionnelle, par l'alternance irrigation/drainage ; de plus, le substrat assure une réserve d'eau et éléments nutritifs, contrairement aux techniques sans substrat.

Les substrats sont généralement placés dans des contenants ou des supports en sacs souples fermes. La solution nutritive percole à travers le massif du substrat (**Charles, 1994**).

3. Avantages et inconvénients des cultures hors sol

3.1. Les Avantages des cultures hors sol

Selon (**Urban, 2010**), les cultures hors sol ont connu un développement considérable dans ces deux dernières décades, dans les pays de l'Europe du nord, Grande Bretagne, pays bas et Allemagne ensuite partout dans le monde, et il distingue deux causes : L'affranchissement des sols contaminés et la meilleure performance agronomique des cultures hors sol.

(**Morard, 1995**) classe les avantages des cultures hors sol d'ordre décroissant comme suit :

- ✓ Elimination des problèmes liés au sol.
- ✓ Economie d'eau et d'engrais minéraux.
- ✓ Simplification des techniques culturales.

- ✓ Produit de meilleure qualité.
- ✓ Augmentation de rendement.
- ✓ Meilleure productivité de la plante

3.2. Inconvénients et contraintes des cultures hors sol

- ✓ Coût d'installation et d'entretien élevé.
- ✓ Contraintes liées à l'irrigation et à la fertilisation.
- ✓ La limitation du système racinaire.
- ✓ Le renouvellement fréquent de la solution fertilisante.
- ✓ L'absence du pouvoir tampon (pH et EC sont variables).

4. Substrats de culture

4.1. Définition de substrat

Le substrat est une substance inerte chimiquement (qui est incapable de réagir avec d'autres substances), qui remplace la terre, et qui est utilisé comme support de culture pour les plantes. Il doit protéger les racines de la lumière et leur permettre de respirer. Mais le substrat véhicule aussi la solution nutritive jusqu'aux racines des plantes. Il existe plusieurs substrats, ainsi que plusieurs variantes d'utilisation (**Kodjo, 2015**).

4.2. Les différents substrats

Selon leur origine nous citons (**Kodjo, 2015**) :

- ✓ Origine minérale : perlite, laine de roche, vermiculite, bille d'argile, graviers, sable.
- ✓ Origine organique : écorce de pin, terreau, fibre de coco, tourbe.

4.3. Utilisation

Selon **Aquavet (2014)**, l'utilisation de substrats dans la culture hors sol a pour objectif :

- ✓ Remplace la terre.
- ✓ Ne nourrit pas la plante.
- ✓ Aération suffisante des racines.
- ✓ Capacité à retenir l'eau.

4.4. Les Pouzzolanes

4.4.1. Types de pouzzolane

4.4.1.1. Pouzzolane naturelle

La Pouzzolane naturelle est un produit d'origine volcanique (verre volcanique, pierre ponce, zéolite...) ou sédimentaire, composé essentiellement de silice alumine et du fer.

Elle est formée d'une phase mal cristallisée, amorphe et de grande surface spécifique, qui réagit rapidement avec la chaux libérée pendant l'hydratation du ciment pour former de nouveaux cristaux de silices et d'aluminate de calcium hydraté qui participent au développement des résistances mécaniques et chimiques. Selon la norme DE L'ASTMC 18, la pouzzolane se définit comme étant un matériau siliceux et alumineux qui ne possède en lui-même aucune ou à peu près aucune valeur liante mais qui sous forme de poudre très fine et en présence d'humidité réagit chimiquement avec l'hydroxyde de calcium, Ca(OH)_2 à des températures ordinaires pour former des composés possédant des propriétés liantes (**Geoferay et al., 1977**).

La pouzzolane naturelle se trouve en abondance dans des zones étendues de la région de Béni-Saf (wilaya d'Aïn Témouchent) à l'ouest de l'Algérie (**Ghrici, 2007**).

4.4.1.2. Pouzzolane artificielle

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Elles sont des déchets des efférentes industries. On distingue par exemple les débris de brique et de tuiles fabriquées avec des argiles pures des températures modérées. On trouve aussi le schiste cuite, et les déchets de l'industrie à base de méta kaolinite (**Mebrouki, 2003**).

4.4.2. Couleur des pouzzolanes

Les analyses chimiques réalisées sur les pouzzolanes de provenances très différentes (France, Italie, Madagascar, Réunion, Martinique, Guadeloupe, Zaïre et Ruanda) tendent bien à montrer que la couleur dominante de celles-ci reste étroitement liée au rapport des pourcentages pondéraux des oxydes ferreux et ferriques (**Geoferay et al., 1977**).

De ce fait, les pouzzolanes noires présenteraient une qualité plus médiocre que celles des pouzzolanes rouges (**Sersale, 1980**).



Figure n° 01: Différent couleurs des pouzzolanes (noir et rouge) (Rocher, 1992).

4.4.3. Différentes utilisations de la pouzzolane

Les pouzzolanes présentent diverses possibilités d'utilisation, les principaux domaines sont les suivants :

4.4.3.1. L'agriculture

a) La culture

Un meilleur arrachage, la facilité de reprise des plantes, la réduction du risque de en plein champ.

La pouzzolane est utilisée pour l'amendement de certains sols. Elle est riche en silice, en alcalino-terreux, offre pour certaines cultures l'avantage d'un milieu bien aéré, ainsi qu'un meilleur enracinement carences et de maladies.

b) Horticulture

L'herbe pousse mal sur la pouzzolane, son caractère minéral met les toiles plastiques à l'abri des rayons ultraviolets pour la culture horticole en serre.

4.4.3.2. Applications routières

Elle sert pour le sablage et comme matériaux de remblais légers des routes verglacées. Utilisée comme couches de base pour itinéraires routiers (la porosité globale de la pouzzolane empêche la formation de lentilles de glaces et évite donc la mise en place de barrières de dégel) (Meukam, 2004).

4.4.3.3. Dans l'industrie

La pouzzolane est utilisée dans la fabrication de ciment, de béton léger et les parpaings comme constituant secondaire (la structure alvéolaire de la pouzzolane confère une faible densité au béton pour une qualité mécanique donnée).

4.4.4. Composition chimique

Exemple d'analyses des compositions chimiques et physiques moyennes d'une pouzzolane d'origine volcanique extraite du gisement de Bou Hamidi situé à 2,5 km de Béni-Saf (nord-ouest algérien) représenté par une montagne de forme conique appelée El Kalcoul dont la cote absolue est de 236 m (Tableau 1).

Tableau n° 01: Composition chimique de la pouzzolane (Laoufi, 2002)

Composants	Teneurs (%)
SiO ₂	74,48
Al ₂ O ₃	12,83
CaO	1,51
Fe ₂ O ₃	3,92
MgO	0,34
SO ₄	Nul
Cl	Nul
P.F.	7,21
Total	100,29
Carbonates	2,73
CO ₂	1,20
H ₂ O	6,01
M.O.	Nul

Nota: P.F., pertes au feu; M.O., matières organiques.

4.4.5. Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques sont illustrées dans le tableau 2.

Tableau n° 02 : Caractéristique physique de la pouzzolane (Laoufi, 2002)

Caractéristiques physiques	Valeurs
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0,98
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,75
Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	3560
Pouzzolanité (%)	85
Absorption (%)	58,70
Porosité (%)	57,10
Humidité (%)	2,50
Perte au feu (%)	5,60

4.4.6. Propriétés de la pouzzolane

Les pouzzolanes sont des roches " acides " ayant des teneurs élevées en silice et en alumine (entre 70 et 80% pour les deux composants ensemble), puis en fer, en alcalins, en magnésie et en chaux.

Ils sont capables de réagir en présence d'eau avec de l'hydroxyde de calcium CaOH₂ pour donner naissance à des nouveaux composés, stable, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes (Michel, 1989).

Elles jouent un rôle de remplissage des pores, ce qui améliore la compacité et diminue la perméabilité.

4.5. Les fibres de palmier dattier

4.5.1. Généralités sur le palmier dattier

Le nom scientifique du palmier dattier est « Phoenix dactylifera L » qui provient du mot Phoenix qui signifie dattier chez les phéniciens, et dactylifera, du terme grec dactylos signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit (Djerbi, 1994). Phoenix dactylifera appartenant à la famille des Palmacées. La famille des palmacées compte environ 235 genres et 4000 espèces (Munier, 1973).

4.5.2. Morphologie du palmier dattier

4.5.2.1. Le système racinaire (sous-sol)

Selon Munier (1973), le système racinaire est de type fasciculé. Les racines ne se ramifient pas et n'ont relativement que des radicelles et le bulbe ou plateau racinaire est volumineux et est émergé en partie au-dessus du niveau du sol (Figure 2).

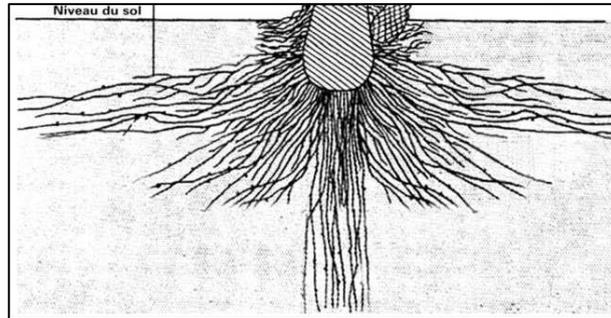


Figure n° 02: Racines du palmier dattier (Munier, 1973)

4.5.2.2. Partie aérienne

Le palmier dattier appartient à la classe des monocotylédones (une feuille embryonnaire dans la graine). Les monocotylédones ont une organisation différente, ils n'ont pas de cambium (une couche mince située entre le bois et l'écorce), alors que le bois de palmier présentant une structure et des propriétés bien différentes de celle des autres arbres (Kareche, 2014) ; (Benmansour, 2011). En effet, le palmier est une herbe géante de 20 à 30 m de hauteur, au tronc cylindrique, portant une couronne de feuilles pennées, divisées avec une longueur de 4 à 7 m. Il porte des inflorescences mâles ou femelles (Alaoui, 2005).

Selon la figure 3, le palmier dattier est constitué de plusieurs parties selon l'ordre de numérotation :

- 1- le tronc (stipe) et cornaf,
- 2- les organes floraux (dattes),
- 3- feuilles (palmes ou djerids), c'est aussi n° 5
- 4- bulbe

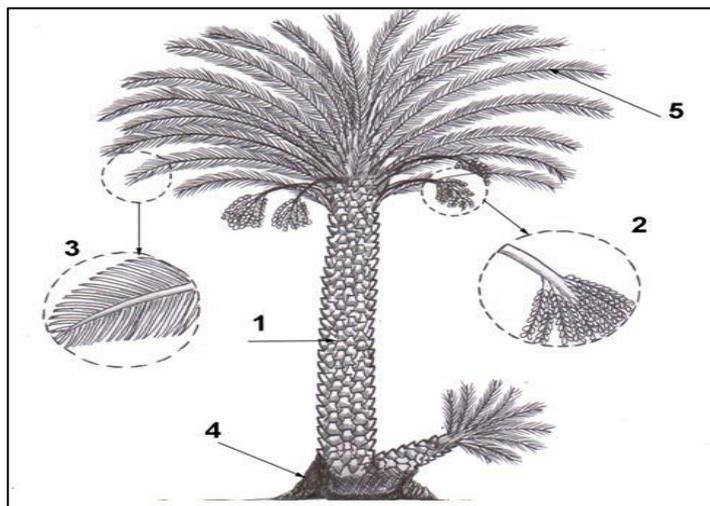


Figure n° 03: Vue d'ensemble et constituants du palmier dattier (Munier, 1973)

Chelli (1996) décrit que le tronc est d'une grosseur variable selon les variétés, il peut varier selon les conditions du milieu pour une même variété. Ainsi, il possède une structure très particulière, il est formé de vaisseaux disposés sans ordre et noyés dans un parenchyme fibreux (Figure3). D'après Wertheimer (1956), le stipe est recouvert par les bases des palmes qu'on appelle « cornaf ».

Les feuilles du dattier sont appelées palmes ou djerids, elles ont une forme pennée et sont insérées en hélice, très rapprochées sur le stipe par une gaine pétiolaire bien développée « cornaf » enfouie dans le « life » ou fibre palmier (Belhabib, 1995) (Figure 4).



Figure n° 04 : A gauche, le cornaf enfouie dans le liffe. A droite la fibre palmier (Belhabib, 1995).

4.5.3. Les fibres de palmiers dattier

Le tronc du palmier dattier est très riche en matière de fibre (Figure 4). Cette matière abandonnée qui se jette généralement en une quantité énorme chaque année peut être maintenant valorisée.

Récemment, la recherche scientifique s'est concentrée sur l'exploitation des ressources naturelles disponibles et durables. Dans le même contexte, l'exploitation d'énormes quantités des sous-produits des palmiers surtout leurs parties fibreuses ont suscité un intérêt

considérable de nombreux chercheurs pour l'utiliser dans les divers secteurs. On cite ici 2 domaines.

Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant cinq types de fibres (**Kriker, 2005**).

- (1) fibres de bois du tronc ;
- (2) fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier (grappe) ;
- (3) fibres de feuilles au niveau des pédoncules ;
- (4) fibres de surface autour de son tronc ou de base de palmes (pétiole) ;
- (5) fibres de liffe (entre les Kornaf, le tronc est recouvert d'une bourre fibreuse que l'on appelle le liffe).

4.5.3.1 Domaine de construction

Afin de valoriser les matériaux locaux, de contribuer à la réduction des coûts de construction et de l'énergie consommée pour le chauffage ou la climatisation, des fibres du palmier dattier mâle ont été utilisées pour stabiliser les blocs de terre comprimée (BTC). L'objectif était d'étudier l'effet de la teneur en fibres de palmier dattier et de la contrainte de compactage sur les propriétés mécaniques du BTC renforcée par ces fibres (**Taallah, 2014**)

4.5.3.1 Domaine d'agriculture

Utilisés comme substrat ou compost (tourbe de fibre) dans les cultures hors sol sous serre ou maraichère (Figure 5). Ce compost est caractérisé par une richesse du rapport C/N et une matière organique dépassant ou égale à 60%.



Figure n° 05: Tourbe à base de la fibre palmier dattier (*Alaoui, 2005*).

Le palmier dattier produit entre 5 à 15 bouquets de dattes par arbre. Chaque bouquet peut contenir jusqu'à 1000 dattes correspondant à un poids approximatif entre 6 à 8 Kg. un arbre de palmier commence à produire des dattes à partir de 3 ans, mais généralement entre 3

à 5 ans. Il peut rester vivant et productif pendant 150 ans environ (Alaoui, 2005). La forme, la taille et la couleur des fruits varient selon la variété.

Sa capacité de rétention appréciable lui permet d'être utilisé comme un substrat idéal dans les cultures hors sol (Tableau 3).

Tableau n° 03 : Principale propriété physicochimiques du compost à base de fibres de palmier dattier (Haddad, 2009)

Paramètres	Compost oasisien
C/N (%)	27,1
Matière organique (%)	60
Densité à l'état frais	1,52
Densité à l'état sec	1,46
Porosité totale (%)	62,2
Porosité d'aération (%)	20,4
Porosité de rétention (%)	41,8
pH	7,64
K ppm	68
Zn ppm	0,9
Mn ppm	1,21
Mg ppm	30
Ca ppm	300
Cu ppm	0,13

4.5.4. Variétés de palmier dattier en Algérie

On distingue dans la littérature plusieurs variétés de palmier dattier (Kareche, 2014) ; (Benmansour, 2011) ; (Sidab, 2015) les variétés les plus connues en Algérie sont :

- ✓ Deglet Nour, qui est probablement la datte la plus réputée au monde.
- ✓ Ghars.
- ✓ Degla-Beida ou Garbaï.
- ✓ Tafezouine.

Chapitre II

Caractéristiques des substrats horticoles

1. Substrats

1.1. Définition

Le terme substrat en agriculture désigne tout matériau naturel ou artificiel placé en conteneur pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue vis à vis de la plante le rôle de support. Il doit présenter des caractéristiques compatibles avec l'activité métabolique des racines. Il intervient à des degrés divers dans l'alimentation hydrique ou minérale de la plante.

En tant que support de la plante, tout matériau solide peut éventuellement être utilisé comme substrat dans la mesure où il est compatible avec un développement normal du système racinaire (**Blanc, 1987**).

1.2. Caractéristiques techniques des substrats

Tous les substrats peuvent être également classés en fonction de leurs inerties physique, chimique ou biologique, c'est-à-dire sur leurs réactivités (**Vitre, 2013**).

Un substrat doit être perméable tout en ayant une bonne rétention en eau, doit conserver sa structure dans le temps (**Henry, 1973**).

1.2.1. Propriétés physiques

Ce sont principalement les propriétés physiques des substrats qui optimisent l'absorption minérales et hydrique de la plante par a apport de solution nutritive et d'oxygène suffisant. Les principales propriétés physiques sont la porosité, la capacité de rétention d'air et la capacité de rétention de l'eau.

Donc, pour un substrat et l'importance des trois phases (solide, liquide, gazeuse) lorsque ce dernier est porté à sa capacité maximale de rétention en eau. Les trois phases ont approximativement les valeurs suivantes :

- Phase solide : 25 % ;
- Phase gazeuse : 32 % ;
- Phase liquide : 43 %.

La phase liquide et gazeuse sont très importantes, ils traduisent les besoins en eau et en oxygène des racines. De ce fait le substrat doit avoir une bonne capacité de rétention en eau, une bonne capacité pour l'air, une bonne stabilité structurale (**Anstett, 1976**).

- a) Porosité totale :** tous les substrats sont poreux, comportant en leur sein des cavités « vides ou pores » dans lesquels se trouvent des fluides (liquide, gaz) (**Blanc, 1987**).

Elle est exprimée en pourcentage par rapport à tout le volume de substrat (Figure 6). Les valeurs recommandées de porosité totale s'étendent de 50 à 85% (Yeager , 1995).

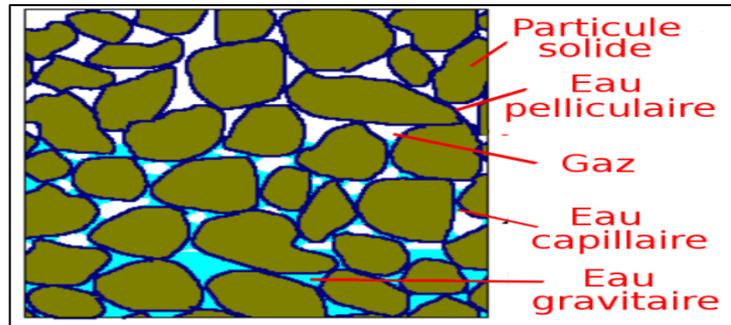


Figure n° 06 : Porosité et différents phases dans un substrat (Urban, 1997).

b) **Rétention d'eau** : il est essentiel de caractériser la quantité d'eau retenue et sa disponibilité dans le substrat, celles-ci jouant un rôle essentiel dans la capacité d'alimentation en eau des plantes et dans la stratégie d'irrigation (Urban, 1997).

c) **Teneur en air** : cette teneur est égale à la différence entre la porosité totale et la teneur en eau et inversement (Urban, 1997). La figure suivante représente la relation entre la teneur en air et l'hauteur de pot.

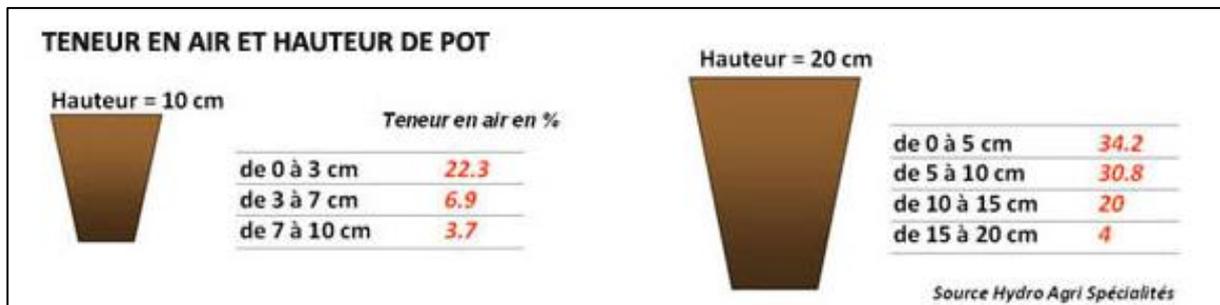


Figure n° 07: Teneur en air et Hauteur de pot (Urban, 1997).

La remarque, c'est que chaque fois que l'hauteur du pot augmente, la teneur en air en % diminue. Généralement un substrat grossier favorise une bonne rétention en air

1.2.2. Propriétés chimiques

a) pH

Le pH ou potentiel d'hydrogène, permettant d'exprimer le degré d'acidité ou de basicité d'une solution aqueuse. Il dépend de la concentration des ions $[H_3O^+]$ de la solution. Le pH est mesuré sur une échelle allant de 0 à 14.

Les solutions acides ont un pH inférieur à 7, les solutions basiques ont un pH supérieur à 7 et les solutions neutres ont un pH égal à 7 (**Dinon et Gerstmans, 2008**).

D'après **Benseghir (1996)**, le substrat doit présenter un pH compris entre 5 et 8, en dehors de ces limites, la plante sera confrontée à des problèmes de nutrition minérale.

Le pH est très important en hydroponie vue l'absence de l'effet tampon que donne le complexe argilo-humique des sols classiques. C'est à cause du pH que les éléments nutritifs sont assimilables ou non par les plantes (**Duthil, 1973**).

Le pH de la solution nutritive doit être adapté à la nature des solutions neutrophiles ou acidophiles. Il dépend des sels chimiques utilisés pour la préparation (**Vilain, 1997**).

D'après (**Morard, 1995**), on classe les végétaux en deux groupes :

- ✓ Les plantes « acidophiles » sont des espèces qui se développent de préférence en milieu acide (pH optimum compris entre 3,5 et 5).
- ✓ Les plantes « neutrophiles » ont une préférence pour une gamme de pH plus élevée voisine de la neutralité : entre 5,5 et 7,5.

b) Conductivité électrique (CE ou EC)

Pour un substrat de culture hors sol, la conductivité électrique (le deuxième facteur important) est la mesure de la concentration totale en engrais (salinité de la solution). Plus la solution est salée en engrais, plus la conductivité mesurée électriquement est grande. Normalement, on conduit l'irrigation fertilisante en adoptant une conductivité moyenne, propre à chaque espèce cultivée, permettant une absorption équilibrée en eau et en éléments nutritifs au niveau des racines (**Vitre, 2003**).

La CE est mesurée à l'aide d'un conductimètre. Maintenant, la mesure de CE est simple et très rapide à l'aide d'un conductimètre portable ou même un multi-paramètre. On peut l'effectuer chaque matin sur des échantillons et de solutions drainées (**Urban, 1997**).

Une forte argumentation de la conductivité électrique au-delà des seuils hauts, (> à 3) correspondant à un apport excessif d'éléments minéraux, une absorption hydrique élevée ou un manque d'arrosage, donc il faut bassiner par une forte dose d'eau pour baisser l'EC. Si ces situations perdurent, la qualité et le rendement des récoltes sont affectées (**Le Quillec, 2002**).

Le tableau suivant donne une idée sur la relation entre EC et la salinité des sols

Tableau n° 04 : relation entre CE, qualité des sols et rendement(*Le Quillec, 2002*).

Classe	CE en $\mu\text{s/cm}$ à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

1.2.3. Propriétés biologiques

a) Réaction de biodégradation

Les substrats d'origine minérale sont presque inertes biologiquement. A l'inverse des substrats d'origine organique contiennent des organismes vivants et sont susceptibles de se dégrader. Les bactéries et les champignons sont les principaux agents responsables de la décomposition de la matière organique (**Perrin et Comporota, 1982**).

La dégradation des protéines conduit plus spécifiquement à un dégagement d'ammoniac qui peut être à l'origine d'une intoxication ammoniacale et d'une augmentation de la sensibilité des plantes à certaines maladies. L'ammoniac est également responsable d'une augmentation du pH qui peut pénaliser l'absorption minérales, et en particulier celle des oligoéléments (**Digat Et Lemaire, 1993**). Il est donc évident que le producteur doit éviter d'utilisation des substrats ayant une biodégradation excessive.

b) Rapport C/N

La mesure du rapport C/N (Carbone/Azote) a été proposée comme un indicateur de stabilité biologique des substrats d'origine organique. En effet le rapport C/N est généralement élevé au début du processus de décomposition, à la fin, il atteint valeurs beaucoup plus basses (**Lemaire, 1993**).

1.2.4. Propriétés mécaniques

Pendant la durée d'utilisation, les propriétés mécaniques des substrats concernent essentiellement l'évolution de trois facteurs : la souplesse, le tassement et la dégradation (Morard, 1995).

- ✓ **Souplesse et l'élasticité**, dépendent de la texture des particules élémentaires et de la granulométrie : l'objectif recherche est d'avoir un support qui ne traumatise pas et ne blesse pas les racines lors de la manipulation.
- ✓ **Tassement au bas de l'enveloppe**, qui correspond à une dégradation des propriétés structurales initiales du substrat en fonction du temps : cette évolution aboutit à une zone compacte au fond du substrat qui cause aux racines des difficultés à le traverser et où l'oxygénation devient impossible (Resh, 1989).
- ✓ **Dégradation**, est un phénomène assez proche du précédent, il correspond à la destruction de la structure qui peut se " déliter " (comme la perlite et la vermiculite) ou qui subit, sous l'action de la microflore, un début d'humification.

Chapitre III

Culture de fraise

1. Historique

Les fraises poussaient dès la plus haute antiquité à l'état sauvage en Amérique et en Asie ainsi que dans les zones Subalpines d'Europe occidentale (**Darrow, 1966**).

La culture de la fraise n'a véritablement commencé qu'autour de l'an 1300 où les Européens transplantaient des fraisiers des bois dans leurs jardins, L'histoire n'est pas unanime sur le sujet, car certains disent que ce serait Jacques Cartier qui aurait été le premier à rapporter *Fragaria Virginiana* en Europe, Cependant, d'autres témoignent que ce serait Francis Drake qui aurait rapporté des fraisiers des colonies de Virginie jusqu'en Angleterre en premier. Les fraisiers sauvages ou cultivés appartiennent tous au genre *Fragaria* de la famille des Rosacées (**Darrow, 1966**).

Depuis l'obtention des fraisiers à gros fruits, *Fragaria x ananassa*, les améliorateurs génétiques travaillent à faire des croisements entre les différentes variétés afin d'en obtenir possédant les critères désirés (**Darrow, 1966**).

Ils existent actuellement environ 600 variétés différentes de fraisiers et ils varient entre eux selon plusieurs critères dont la taille, la texture, la saveur, la couleur, la résistance aux maladies, la période de production, le niveau en éléments nutritifs... etc., (**Hebbache et al., 2013**).

La figure 8 illustre les différents constituants de la plante de fraisier (les feuilles, les fleurs, le fruit (la fraise) et la reproduction du fraisier par les stolons).

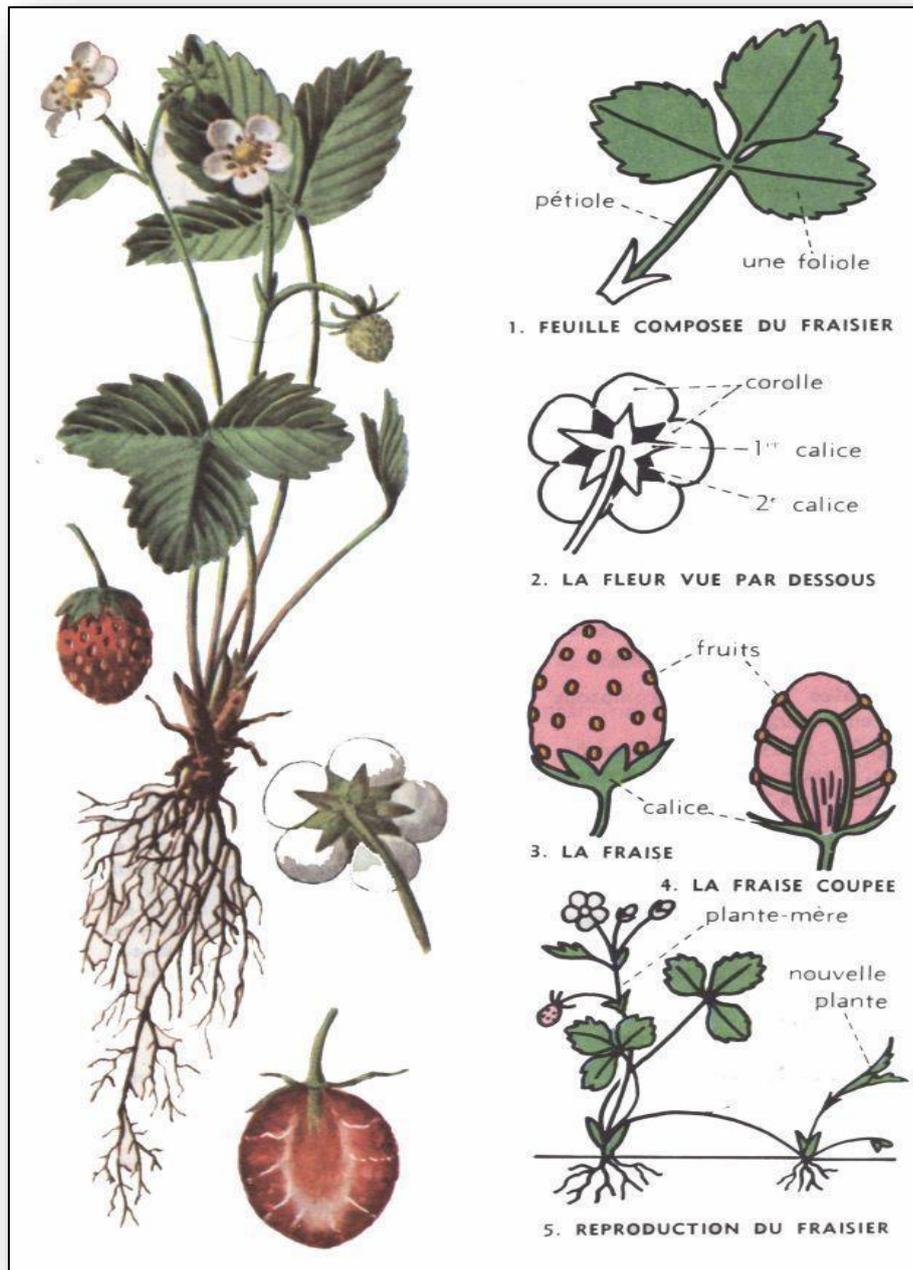


Figure n° 08 : Vue générale du fraisier (Darrow, 1966).

2. Description et caractéristiques de la fraise**2.1. Définition**

Fraise (*Fragaria x ananassa Duch.*) est un fruit non-climactérique de la consommation humaine fréquente (da Silva Pinto et al., 2008). La fraise est également une bonne source de vitamine C, et d'autres composés antioxydants, tels que les flavonoïdes et les composés phénoliques (Robards et al., 1999).

2.2. Structure

La structure de la fraise comporte de nombreux petits carpelles individuels (akène), portés sur un réceptacle hémisphérique ou conique qui s'accroît jusqu'à devenir à la maturité une masse pulpeuse, juteuse, délicieuse au goût (Hebbache et al., 2013). Voir figure 9

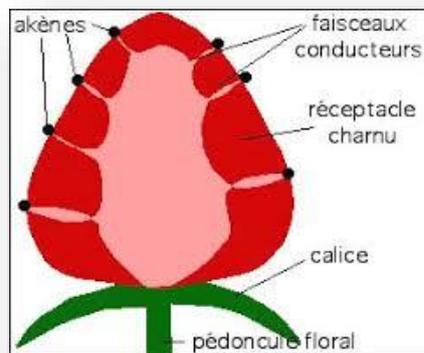


Figure n° 09: structure de fraise (fruit) (Hebbache et al., 2013).

2.3. Classification botanique

Fragaria x ananassa Duch regroupe l'ensemble des espèces cultivées de fraisier. Cette plante herbacée de la famille des Rosacées produit des stolons qui permettent la formation de nouveaux plants par multiplication végétative (figure 10). La multiplication par graine est en effet presque exclusivement réservée à la création variétale (Hebbache et al., 2013).

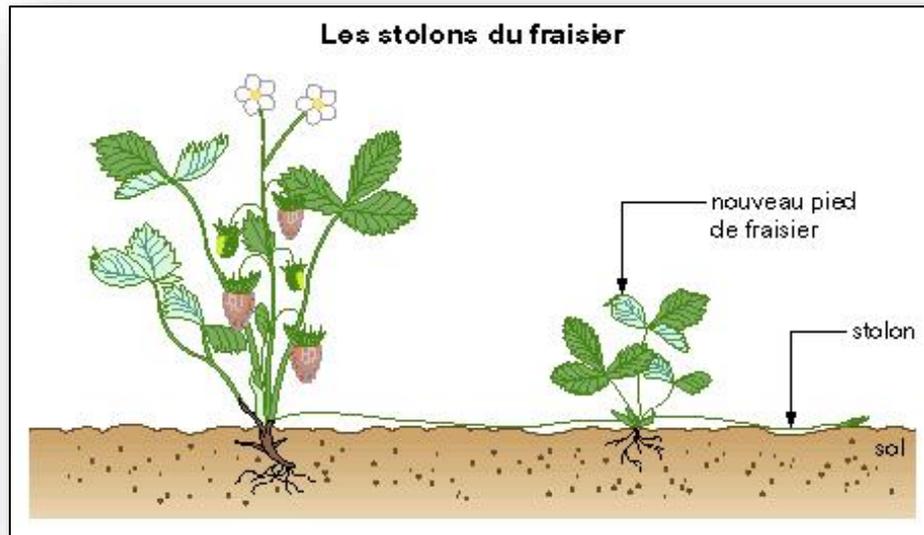


Figure n° 10: multiplication végétative de fraisier par la production de stolons (*Hebbache et al., 2013*).

2.4. Description fraise

2.4.1 Caractéristiques physiques

La fraise est un fruit de couleur rouge vif très attrayant, due à la présence d'anthocyanines, dont le principal est le glucoside-3-pelargonidine (*Mishra, 2014*).

La fraise se caractérise également par sa faible fermeté. La chair de la fraise est un réceptacle florale gonflé, un faux-fruit et ce sont les graines ou akènes, qui sont les vrais fruits. C'est un **fruit non climatérique**, dont la couleur évolue au cours de la maturation passant du vert blanc au rouge sombre en une quarantaine de jours (*Schwieterman, 2014*).

2.4.2 Caractéristiques organoleptiques

La fraise a un goût délicieux et une saveur unique. Son arôme est constitué principalement d'un mélange complexe d'esters, d'aldéhydes, d'alcools et de composés soufrés. Ce sont les esters qui seraient les plus importants contributeurs du goût typique et fruité de la fraise (*Mishra, 2014*). Cependant, il existe des différences d'arômes entre les multiples cultivars.

L'arôme est d'ailleurs un des principaux critères de qualité pour le consommateur dans sa sélection. La petite note acidulée est due à la présence plus ou moins importante d'acides

organiques (sous forme d'acide citrique et malique (Mikulic-Petkovsek, 2012)). La figure 11 représente deux couleurs de fraise (rouge et blanc (variété rare)).



Figure n° 11 : Deux couleurs de fraise : rouge et blanc (Mikulic-Petkovsek, 2012).

2.4.3 Caractéristiques de composition (hors macronutriments, vitamines et minéraux)

La maturation de la fraise entraîne une accumulation de plusieurs sucres et d'acides organiques en plus des composés volatiles qui constituent son arôme (Schwieterman, 2014). Au cours de la maturation, le pH augmente alors que l'acidité et la fermeté du fruit diminuent. Les principaux acides organiques ont tendance à augmenter de façon irrégulière au cours de la maturation de la fraise (Ornelas-Paz, 2013), à savoir :

Pour 100 g : Acide citrique 822,8 mg, Acide malique 245,8 mg, Acide ascorbique 78,1 mg

La figure 12 illustre la composition notionnelle en micronutriments de la fraise. Ce fruit est riche C et B9, et une bonne source de magnésium. Comme macronutriments, on a les Glucides, les fibres, les protéines, les AGS (acide gras saturé) et les lipides.

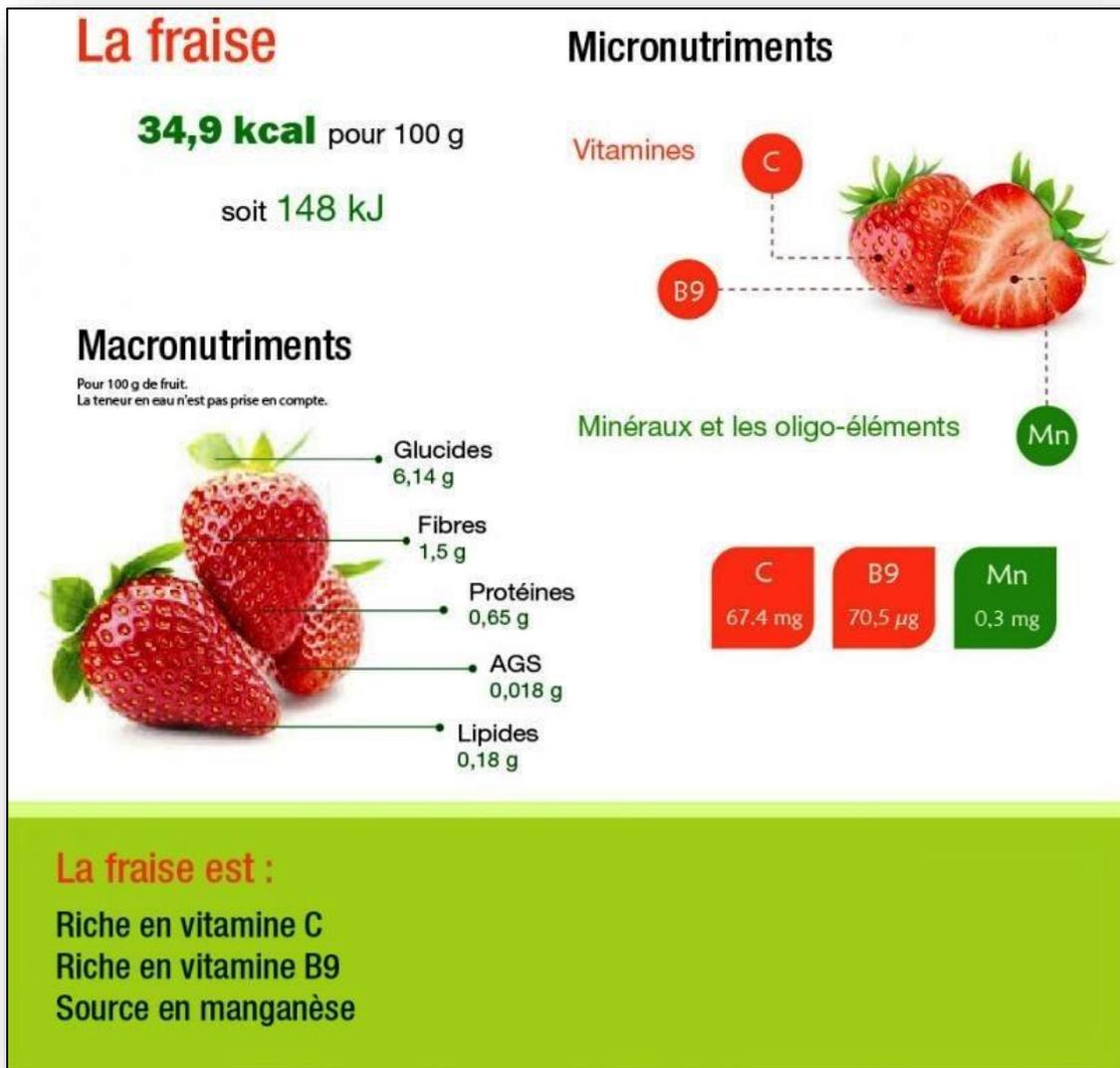


Figure n° 12 : Apport calorique et répartition des micros et macronutriments de la fraise (Schwieterman, 2014).

3. Fraise en culture hors sol et pilotage de la culture

Depuis presque 40 ans, un nouveau type de culture de la fraise est apparu en Europe. C'est la culture hors sol ou dite culture sur substrat. Cette méthode a été développée suite aux problèmes de maladies des sols et de recrutement d'un nouveau personnel. En effet, les problèmes de fatigue du sol et combinés à l'interdiction d'utiliser le bromure diméthyle pour traiter les maladies pathogènes et un manque croissant de personnel fidèle ont engendré une migration de la culture plein sol vers la culture hors sol (Ancay et al. 2010). Maintenant, la popularité de ce mode de culture gagne toute l'Europe, majoritairement la France, l'Italie, l'Espagne et le Royaume-Uni (Lieten et al. 2004).

La culture hors sol du fraisier est principalement réalisée dans des grands tunnels. Ces structures ressemblent à des serres ordinaires, à la différence qu'elles sont non-permanentes et que leur climat est peu ou pas contrôlé. Les grands tunnels sont beaucoup moins coûteux que des serres, ils protègent la culture de la pluie et des vents et fournissent un certain réchauffement grâce à l'effet de serre obtenu (**Giacomelli 2009**). Cette méthode permet l'application d'une irrigation précise et d'une fertilisation adaptée et par conséquent l'augmentation des rendements (**Kadir et al. 2006**).

La figure suivante donne un exemple d'un tunnel utilisé dans la culture de fraise



Figure n° 13: Tunnels pour fraise (**Papadopoulos et al. 2008**).

Les principaux substrats utilisés en culture hors-sol du fraisier sont la laine de roche, la fibre de coco, la tourbe, les écorces de pin et les mélanges de tourbe blonde (**Guérineau et al. 2003**). Comme composés de nature inorganique, on trouve le sable, le tuf, la perlite, la vermiculite, les granulés d'argile expansée la zéolite (**Papadopoulos et al. 2008**).

4. Culture sous abri

Il existe différents types de systèmes pour la culture de fraises biologiques, par exemple les abris. Son utilisation offre des différents avantages, soit d'allonger la période de récolte, de fournir des fruits de plus grande qualité, de faciliter la récolte et de réduire les maladies fongiques (**Demchak, 2009**).

Les abris existants pour la culture du fraisier sont les grands tunnels qui peuvent être installés en multi chapelles afin de procurer une plus grande superficie et, surtout, un climat plus homogène qu'en grand tunnel simple. Lorsque nous cultivons des fraises dans des tunnels

saisonniers, on les plante avec un espacement similaire entre les plants (de 40 à 50 cm), en réduisant seulement la distance entre les rangs (de 30 à 40 cm).

On doit aussi éviter une plantation trop compacte, car les plantes sont alors en concurrence pour le soleil et peuvent s'affaiblir. Cela a un effet négatif sur la fructification, et plus important sur le rendement. Dans cette situation, le producteur récoltera des fraises plus petites et plus acides (**van Sterthem, 2013; van Sterthem et al., 2017**).

5. Systèmes de production

5.1. Avec terreau

. En plus la sensibilité de ce fruit à la chaleur, la fraise requiert d'excellentes conditions de drainage, ainsi qu'un pH légèrement acide (**CRAAQ 2010**) au voisinage de 5,8. Don l'idéal c'est d'utiliser le terreau qui devait offrir une haute porosité afin de permettre un drainage et une diffusion des gaz supérieurs avec un pH acide.

5.2. Irrigation et fertilisation

Avec le terreau, on peut utiliser l'irrigation par un système goutte à goutte: la fréquence et la durée des irrigations sont adaptées au développement des plants, à la luminosité et au pouvoir de rétention du terreau. La fertilisation est faite par une méthode manuelle ou automatique en utilisant un engrais soluble (solution nutritive). Généralement, 2 solutions nutritives sont utilisées : la première lors de la phase végétative (plantation à la floraison) et la deuxième pour la phase de fructification. Il faut toujours prendre les mesures de pH et de conductivité électrique (CE) (deux ou trois fois / semaine) (**Pardossi et al., 2011 ; Ameri et al., 2012 ; Prémont, 2015**).

En Europe, les variétés qui s'adaptent à la culture hors sol sont connus sont les noms : Gariguette, Charlotte et Clery. La figure suivante représente le rendement intensif de la fraise (variété Gariguette) avec un système hors sol sous serre avec une irrigation automatisée



Figure n° 14 : Culture hors sol intensive des fraises (Variété Gariguette)
(Pardossi et al., 2011)

Partie II

Etude Expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes

1. But de l'essai

Le but de ce travail base sur l'étude d'un nouveau type de culture hors sol et voir en même temps l'influence de quelques paramètres physico-chimiques sur l'absorption des nutriments (engrais et oligo-éléments) et le développement des plantes jusqu'à le point de production sous serre.

Le suivis quotidien de la température et l'humidité dans la serre à était faite à l'aide d'un thermo-hygromètre surtout dans la période chaude (moi d'Avril et Mai).

Pour cela, on a choisi trois mélanges différents plus le témoin (terreau) comme substrat de comparaison en utilisant chaque fois un pourcentage différent : fibre palmier, pouzzolane et terre végétale.

Pendant le pilotage quotidien précis de l'irrigation avec trois solutions nutritives de concentrations différentes, on a essayé de voir la relation entre la fertilisation et la variation de ces paramètres physico-chimiques (pH, EC, longueur des plantes et racines, volume racinaire et distribution des racines, taux d'humidité, densité apparente, pourcentage de drainage, matière sèche et fraîche, volume racinaire, poids des fruits ...etc). L'essentiel plusieurs paramètres surtout la partie racinaire des plantes.

On basant aussi sur d'autres travaux antérieurs, on a essayé de trouver statistiquement la ou les meilleures combinaisons : substrat – solution nutritive - espèce cultivé qui donne la meilleure croissance de nos plantes et par conséquent une très bonne assimilation de la solution nutritive utilisée (engrais + acide + eau + substrat).

2. Matériels utilisés**2.1 Caractéristiques de labri-serre**

La serre utilisée pour la réalisation de notre étude est située au niveau de la faculté de science de la nature et de la vie (SNV) de karman –Tiaret – (la serre de la faculté). De forme quasi hémicylindrique.

L'armature est en acier galvanisé. Le matériau de couverture utilisé est le polycarbonate stabilisé thermique anti UV et IR sous forme de plaques transparente.

L'orientation de la serre est Nord-est. Le renouvellement de l'air est assuré par une porte frontale et par deux grands ventilateurs et par un système d'ouverture automatisé des plaques. L'écartement entre les films de plastique en cas de fortes chaleurs (Figure 15).

Elle équipée aussi avec une citerne de 2000 litres pour l'irrigation des plantes



Figure n° 15 : Serre de la faculté de science de la nature et de la vie de karman –Tiaret –

Un thermo hygromètre au niveau de la serre est placé tout le temps pour mesurer et contrôlé la température intérieure et l'humidité de la serre.

2.2 Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué d'une espèce maraichère appartient à la famille de rosacées « la fraise » d'une variété hybride. La figure 16 représente les plants utilisés dans notre expérience (origine : pépinière de Tipaza).



Figure n° 16 : Plants de fraise utilisée, pépinière de la W. de Tipaza

2.3 Substrats**2.3.1 La terre végétale**

La terre végétale utilisée a une texture sablo-argileux (figure 17) de couleur noir. Extraite d'une ferme proche de Jumentrie (Tiaret) d'une profondeur 3 mètres pour minimiser au maximum l'existence de maladies, verres et moisissures.



Figure n° 17 : terre végétale utilisée (région de Jumentrie, Tiaret)

Les analyses de cette terre sont faites au laboratoire d'écologie au niveau de la faculté de science naturelle et de la vie (SNV) à l'université de Tiaret.

Le tableau ci dessous donne les caractéristiques physiques et chimiques de cette terre végétale.

Tableau n° 05 : les caractéristiques physiques et chimiques de la terre végétale

Granulométrie					pH	CT%	CA%	MO%	CE mS/cm
A %	Lf %	Lg %	Sf %	Sg %					
22,28	33,42	30,33	10,99	02,97	7,30	19,74	4,38	0,86	1,12

Argile : A % , Limon fin : Lf % , Limon grossier : Lg % , Sable fin : Sf % , Sable grossier : Sg % , pH : potentiel d'Hydrogène , CT : Calcaire totale , CA : Calcaire actif , MO : Matière organique. , CE : Conductivité Electrique

2.3.2 Pouzzolane

La Pouzzolane utilisée de couleur noir est naturelle, d'origine volcanique. Cette pouzzolane se trouve en abondance dans des zones étendues de la région de Béni Saf (wilaya d'Aïn Témouchent) à l'ouest de l'Algérie (**Ghrici, 2007**). Exactement, extraite du gisement de Bou Hamidi situé à 2,5 km de Béni-Saf représenté par une montagne de forme conique appelée El Kalcoul. Les caractéristiques physico-chimiques de ce substrat se trouvent dans la partie bibliographique.

2.3.4 Fibres de palmier dattier

La fibre de palmier dattier (life) utilisée (figure 18) se trouve en une immense quantité dans le sud algérien. Des milliers de tonnes de ces fibres se jettent comme ça chaque année ou terminent par être brûlés. Ces fibres enrobent le (cornaf) du tronc palmier. Les agriculteurs enlèvent ces fibres une fois par an juste après la récolte des dattes (mois de décembre)

Cette matière abandonnée peut être maintenant valorisée dans plusieurs domaines. Selon d'autres travaux antérieurs sur ces fibres (**CHOI et LATIGUI 2013**), nous avons utilisé cette matière comme substrat horticole dans nos mélanges (traitements).

Ces fibres (10 grands sachets) ont été ramenées à partir de la région d'Elghrouss (12 km de Tolga), W. de Biskra dans le début de mois de Janvier. Coupées soigneusement en tout petit morceau comme la sciure de bois pour qu'elle soit utilisable. La MS est 67,50 ; le reste est une humidité.



Figure n° 18 : Fibre palmier (région d'Elghrouss, W. de Biskra)

2.3.5 Terreau commercial

Une quantité suffisante de terreau commercial importé est utilisée dans notre expérience. Il se trouve dans le marché emballé dans des grands sachets. On trouve des variétés selon le but d'utilisation. Sa composition approximative est la suivante :

- 26 % de matière sèche (MS) sur brut
- 60% de matière organique (MO) en masse de produit brut
- pH (H₂O) = 6,5
- Capacité de rétention de l'eau % MS = 60
- Conductivité électrique (CE), 60mS/m,
- Engrais composé NPK14-14-14 Kg/m³ du produit brut (proche de notre engrais utilisé 13-13-13)

2.4 Caissons ou containers

Les containers utilisés pour notre essai, sont des pots en polyéthylène de 4,5 litres de volume avec une profondeur de 20 cm. Ils présentent des orifices de drainages à la base (4 trous).

2.5 Appareillage pour mesures dans la serre

Un pH mètre et un Electro-conductimètre portables est utilisés pour mesurer le pH et la conductivité électrique (CE) des solutions d'apport et de drainage de nos traitements et pour mesurer, contrôler la solution nutritive et par conséquent piloter la culture de la fraise (Voir annexe).

2.6 Produits utilisés pour la préparation de la solution nutritive

On a utilisé l'acide nitrique (HNO₃) de concentration 65% pour la correction de pH ; l'eau de robinet et un engrais soluble commercial de couleur vert (engrais 13-13-13) clair et un autre marron (oligo-éléments) foncé (voir annexe), la composition de ces engrais est représentée par les figures 19 et 20. La solution nutritive a été corrigée avant chaque irrigation en fonction des exigences des plantes.



Figure n° 19 : engrais 13-13-13 et sa couleur verte claire

Analyses garanties	% p/p
Acides organiques (lignosulphonates)	0,26
Bore (B)	0,3
Cuivre (Cu)	0,12
Fer (Fe)	4,0
Manganèse (Mn)	2,0
Molybdène (Mo)	0,1
Zinc (Zn)	0,5



Figure n° 20: Oligo-éléments et sa couleur marron foncé

Le mélange entre les deux engrais donne une couleur marron clair

Pour avoir un pH 5,5, La dose était 0,2 ml en plus ou au moins de HNO₃ pour chaque litre d'eau dans la citerne, après mélange en mesure exactement le pH sur place après une forte agitation et un repos de 5 minutes.

Pour enrichir notre étude en fonction du substrat et solution nutritive, nous avons préparé 3 solutions nutritives de différentes concentrations dans 3 bidons de 120 litres chacun

Les concentrations sont : 70% (S1), 100% (S2) et 130% (S3)

La concentration des macros éléments, oligo-éléments dans chaque bidon est illustrée par les tableaux en dessous

Tableau n° 06 : Concentration des Macro éléments en g/l et en mg/l dans chaque bidon selon le pourcentage

Eléments	% p/p	% p/v = (% p/p X 1,27)	Concentration en g/l	% dans la solution de concentration 70 %	% dans la solution de concentration 100 %	% dans la solution de concentration 130 %
Azote (N)	10,3	13,081	130,81 g/l	338,65 mg/l	484 mg/l	629,34 mg/l
Phosphore (P ₂ O ₅)	10,3	13,081	130,81 g/l	338,65 mg/l	484 mg/l	629,34 mg/l
Potassium (K ₂ O)	10,3	13,081	130,81 g/l	338,65 mg/l	484 mg/l	629,34 mg/l

Eléments	Concentration en (g/l) de la solution pure (mère)	% dans la solution de concentration 70 % (mg/l)	% dans la solution de concentration 100 % (mg/l)	% dans la solution de concentration 130 % (mg/l)
Acides organiques (lignosulphonates)	3,3 g/l	8,54	12,21	15,87
Bore (B)	3,8 g/l	9,83	14,06	18,28
Cuivre (Cu)	1,5 g/l	3,88	5,55	7,21
Fer (Fe)	51,2 g/l	132,55	189,44	246,32
Manganèse (Mn)	25,6 g/l	66,27	94,72	123,16

Molybdène (Mo)	1,2 g/l	3,10	4,44	5,77
Zinc (Zn)	6,4 g/l	16,56	23,68	30,79

Tableau n° 07 : Concentration des oligo-éléments en mg/l dans chaque bidon selon le pourcentage

Notre Irrigation est périodique selon les besoins de la plante, avec des tasses gradués en ml pour bien connaître les quantités exactes pour chaque plante.

On note toujours que le dosage (préparation des 3 solutions nutritives) commence par l'acide puis l'engrais pour avoir une solution homogène sans précipitation. Le contrôle et le réglage quotidien de ces deux paramètres (EC et pH) est obligatoire.

2.7 Traitement phytosanitaire

Le microclimat créé dans la serre a favorisé le développement des parasites et des maladies (champignons.....). Pour cela, nous avons réalisé des traitements préventifs contre les maladies cryptogamiques en utilisant une fongicide systématique. Il a un effet curatif et préventif, la dose utilisée est de 2,5 ml de produit/ 5l d'eau. Une fois chaque 15 jours.

3. Protocol expérimental

L'expérimentation en général est un pilotage quotidien de la culture sous serre de fraise et l'analyse des échantillons en laboratoire et dans la serre ainsi que l'étude de l'effet de substrat sur les différents paramètres étudiés.

L'organigramme en dessous illustre notre travail et les différentes mesures et paramètres physico-chimiques étudiés. Tout notre travail à durer 04 mois (jusqu'à la récolte).

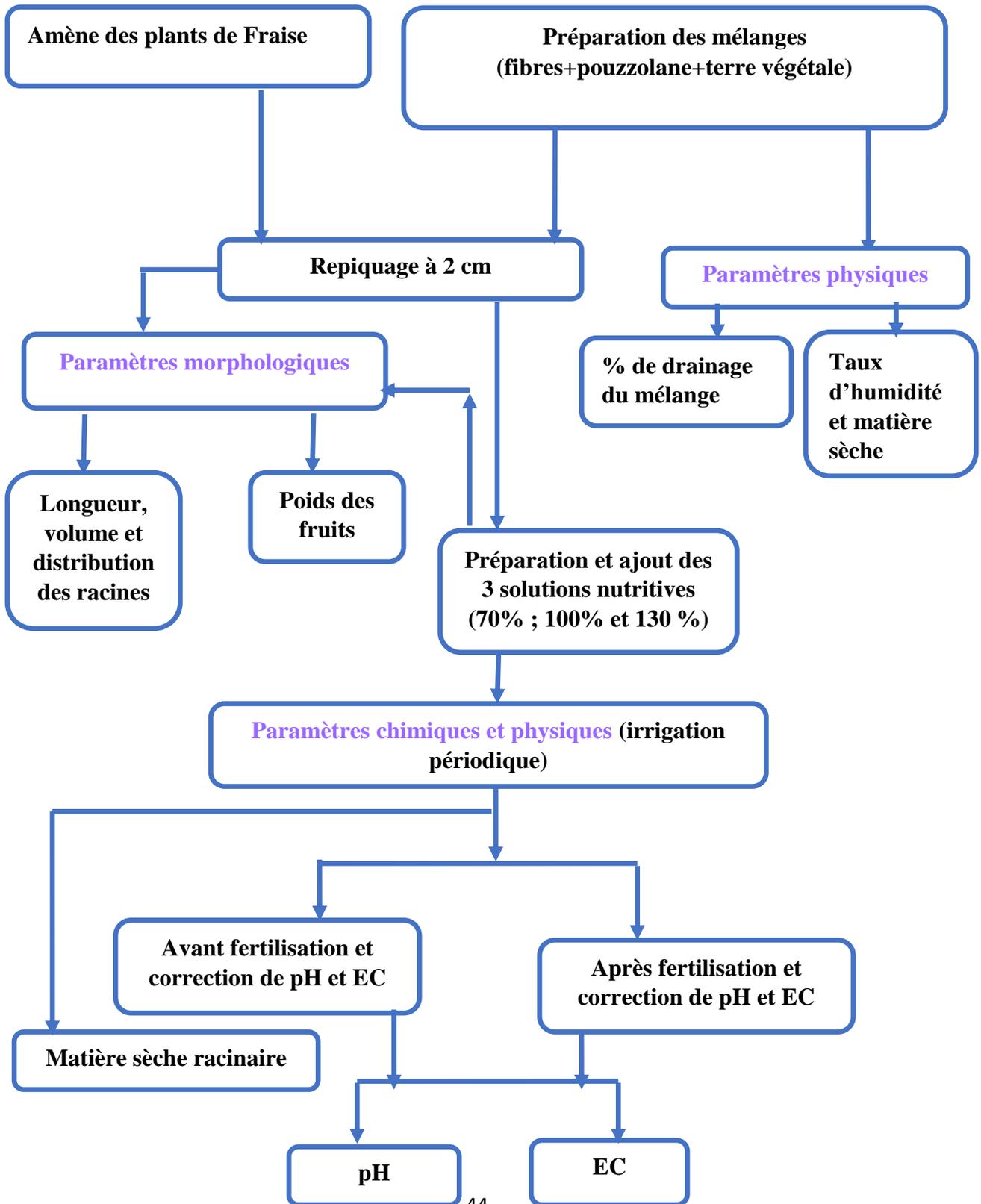


Figure n° 21 : Organigramme globale de l'étude

3.1 La conduite de culture sous serre

3.1.1 Préparation des substrats

Quatre combinaisons ont été préparés à partir de : fibres du palmier dattier ; pouzzolane et terre végétale en changeant chaque fois les %.

On les appels : substrats, mélanges ou traitements. On les symbolise par : T1, T2, TR, T.

Notre choix a était porté sur les traitements suivantes :

- Traitement 1 : **T1** (40% fibre 40% pouzzolane 20% Terre végétale)
- Traitement 2 : **T2** (40% fibre 30% pouzzolane 30% Terre végétale)
- Traitement 3 : **TR** (Témoin terreau commercial)
- Traitement 4 : **T** (60% Fibre 40% Terre végétale)

10 pots pour chaque Traitement (mort = 0)

3 pots pour chaque solution nutritive, le 10 éme en plus

3.1.2 Mise en pot de substrats

Les quatre traitements sont soumis dans des pots en plastique de même taille, volume et forme avec 10 répétitions chacun (3 pour chaque solution nutritive : S1 (70%) ; S2 (100%) et S3 (130%), le 10 éme est en plus) ; soit neuf répétitions X 4 traitements, d'où un total de 40 répétitions pour la fraise. Les pots sont repartis sur huit planches métalliques qui jouent le rôle du support. L'espace entre deux pots est de 40 cm.

3.1.3 Plantation

Les jeunes plants de fraise ont été transplantés dans les pots de substrat. Chaque pot contient une petite quantité de gravier en dessous pour diminuer la perte de l'irrigation. Les plants aient atteint le stade végétatif 3 à 4 feuilles.

- Date de plantation des plants dans les pots : 21/01/2020.
- Date finale : 28/05/2020.

3.1.4 Irrigation

Durant les premiers jours suivants la transplantation, l'arrosage des plantes étaient effectué à l'eau de robinet. Puis les doses d'irrigation vont en augmentation avec la croissance des plantes et l'augmentation de la température dans la serre.

Plus tard, l'arrosage par la solution nutritive a été effectué manuellement pour un bon control d'irrigation. Une citerne de 1000 litre d'eau comme réserve a été utilisée. Dans la période chaude, la fréquence d'irrigation était d'une fois à deux fois par jours pendant maximum deux litres d'eau/plante/par jour. Elles dépendaient du pourcentage de drainage qui était réglé entre 30 à 40% de la quantité apportée (**Latigui, 1992**).

Pour EC, l'appareil portable de marque *HANNA* fait directement l'approximation et affiche automatiquement un seul chiffre après la virgule

Pour le pH, un appareil aussi de marque *HANNA*, étalonné. Les mesures sont faites directement sur place

Les solutions nutritives (NPK + oligo-éléments) ont les concentrations suivantes : 70% , 100% et 130%

Les valeurs EC et pH d'apport sont :

70%	pH = 5,63	EC = 1,7
100%	pH = 5,65	EC = 2,1
130%	pH = 5,67	EC = 2,6

3.1.5 Mesures et Observations

Des contrôles ont été effectués tous les 2 jours sur la solution de drainage. Parfois chaque jour dans les périodes chaudes. Il s'agissait, en particulier, de mesurer la conductivité électrique EC et le pH avec une grande précision.

Les normes idéales de ces deux paramètres pour une culture de frise varient entre 5,50 à 6,5 pour le pH et entre 1,5 à 2,5 ms/cm pour la conductivité électrique (**Latigui, 1992**).

4. Evaluation des paramètres étudiés**4.1 Propriétés physiques****4.1.1 Taux d'humidité ou Matière fraîche**

D'une manière générale, c'est la perte de poids après séchage à 105 °C pendant 24 H .exprimé en pourcentage.

Taux d'humidité = $(PH - PS) \times 100 / PH$.

PS : poids séché a 105 C pendant 24 heures.

PH : poids du substrat humide.

4.1.2 Pourcentage de drainage

Après remplissage de chaque pot avec le mélange représentant le traitement, une saturation avec une quantité d'eau a été faite. Le drainage récupéré et évalué. C'est le % du volume drainé par rapport au volume apporté.

4.2 Propriétés chimiques**4.2.1 pH**

Le pH est une abréviation de potentiel Hydrogène, permettant d'exprimer le degré d'acidité ou de basicité d'une solution aqueuse. Il dépend de la concentration en ions $[H_3O^+]$ de la solution :

Le pH est mesure sur une échelle allant de 0 à 14. Les solutions acides ont un pH inférieur à 7, les solutions basiques ont un pH supérieur à 7 et les solutions neutres ont un pH égal à 7.

Le pH influe sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes (**Dinon et Gerstmans, 2008**)

Le pH-mètre est un appareil de mesure qui permet de déterminer avec précision le pH d'une solution. Il est constitué d'un millivoltmètre électronique qui mesure une différence de potentiel entre deux électrodes : une électrode de référence dont le potentiel est constant et indépendant du pH de la solution (à température constante) et une électrode de mesure dont le potentiel est fonction de la concentration des ions H_3O^+ et donc du pH de la solution.

4.2.2 Électro conductivité ou conductivité électrique

Pour un cultivateur hydroponique, l'EC est très important, il permet de mesurer la concentration de nutriments (sels minéraux) qui sont présents dans leur solution nutritive. C'est grâce à cela qu'il est possible d'apporter avec précision le nombre de nutriments essentiels dont la plante a besoin suivant son stade physiologique à savoir la germination, pré croissance, croissance et la floraison.

L'électro conductivité ou EC est mesuré en mS/cm. En effet, chacun des éléments nutritifs dissouts dans l'eau se transforme en ions.

Il est important de noter que le nombre d'éléments chargés positivement et négativement sont égaux. Ce qui résulte de la neutralité en charges électriques de la solution.

L'électro conductivité et le pH de l'eau, de la solution d'apport ainsi que celle du drainage ont été prélevés pendant chaque irrigation par l'utilisation du pH-mètre et un conductimètre

4.3 Paramètres morphologiques

Les mesures ont porté sur les paramètres morphologiques de la fraise. Plusieurs répétitions pour avoir le bon résultat. On a choisi donc les paramètres suivants :

4.3.1 Longueur des racines

Ce paramètre a été mesuré au niveau de chaque répétition à l'aide d'une règle graduée depuis le collet jusqu'à l'extrémité de la racine.

4.3.2 Volume des racines

Les mesures ont porté sur le volume global des racines, le volume de la partie supérieure des racines et le volume de la partie inférieure des racines.

4.3.3 Distribution des racines

C'est le rapport entre le volume racinaire supérieur / l'inférieur coupé dans la moitié exactement. Généralement il est supérieur à 1. Il donne une idée sur la distribution des racines en haut et en bas.

4.3.4 Poids des fruits

Ce sont les fruits mûrs de couleur rouge, la récolte est précise pour ne pas les détruire. La mesure est faite à l'aide d'une balance digitale directement après la récolte pour chaque plante.

Chapitre II

Résultats & Discussions

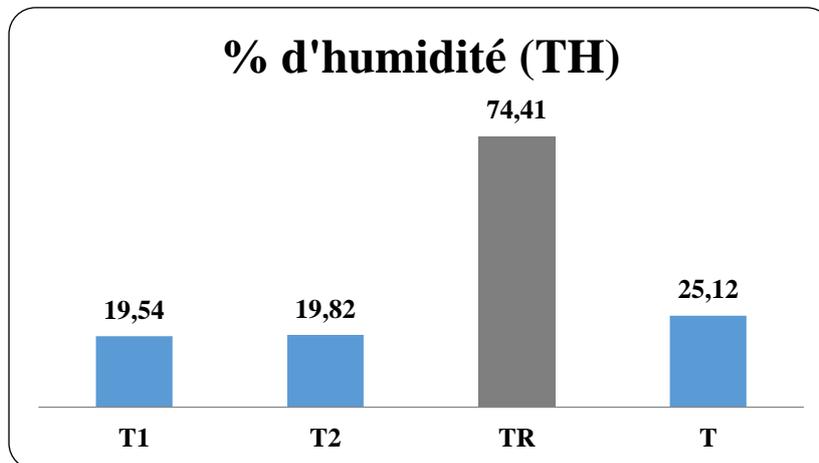
1. Caractéristiques physico-chimiques des traitements

1.1 Caractéristiques physiques

1.1.1 Taux d'humidité et matière sèche des traitements

Pour nos 4 traitements (T1, T2, TR et T), la comparaison des moyennes (Figures 22 et 23) montrent que le taux d'humidité le plus élevé a été obtenu par le terreau commercial (TR : 74,41) vu sa composition, puis le traitement (T : 25,12%) riche en terre végétale. Selon **CABRERA (2003)**, plus le taux d'humidité est élevé plus le métabolisme est important en

fonction des conditions climatiques. Pour la MS, qui est le complément de TH, la faible valeur est signalée pour TR : (valeur très proche de la valeur mentionnée dans la partie méthodes),



conditions climatiques. Pour la MS, complément faible valeur pour TR : (valeur très valeur dans la matériels et puis T :

74,88 %. Le traitement le plus riche en MS est T1 : 80,46 %.

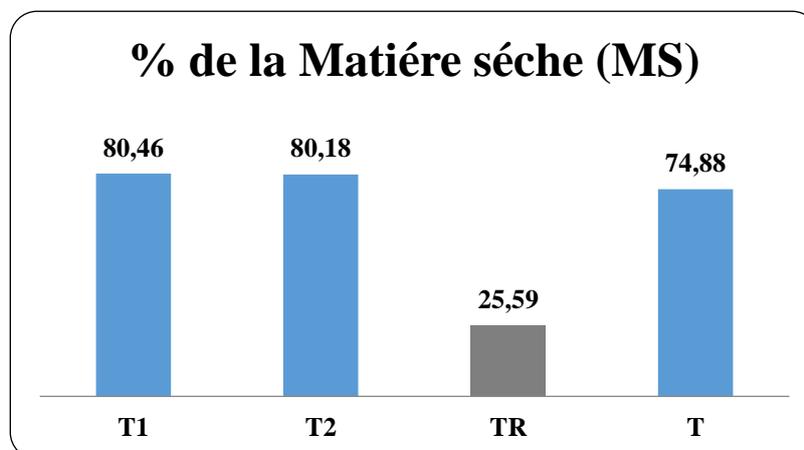
Figure n° 22: Taux d'humidité (%)

Figure n° 23: Matière sèche (%)

1.1.1 Densité apparente

La densité apparente ou la masse volumique apparente est définie comme le rapport entre le poids sec et le volume de container. La valeur la plus élevée a été obtenue par le traitement T2 et T1 avec 0,46 et 0.43 puis T avec 0,35 g/cm³. Le traitement TR présente la plus faible valeur (0,11), donc il est le moins dense.

Ce résultat coïncide avec ceux de **YEAGER, (1995)** où il a montré dans ses travaux que la densité apparente recommandée en culture hors sol varie entre 0.19 et 0.70 g/cc. Dans ce cas, les densités apparentes de nos 3 traitements répondent aux exigences des cultures hors sol (figure 24).



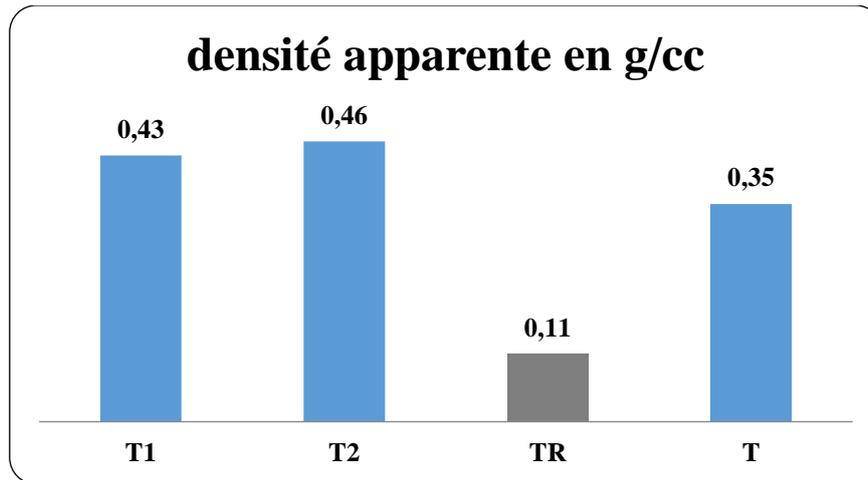


Figure n° 24 : Densité apparente

1.1.1 Pourcentage de drainage (VSD/VSA)

Selon **Latigui (1992)**, pour avoir un drainage idéal de la culture hors sol pendant toute la période de culture, il faut faire un drainage variant entre 30 et 40 % et il vaut mieux conserver les % trouvés au début. Donc ce domaine est largement favorable pour une croissance optimale des plantes.

Pour les 4 traitements (figure 25), on a essayé toujours d'avoir ce domaine d'idéalité idéale (rapport entre le volume de la solution d'apport VSA et celui de la solution de drainage VSD) et on a conservé ces rapports jusqu'à la fin de notre expérience et cela pour uniformiser le drainage chaque fois.

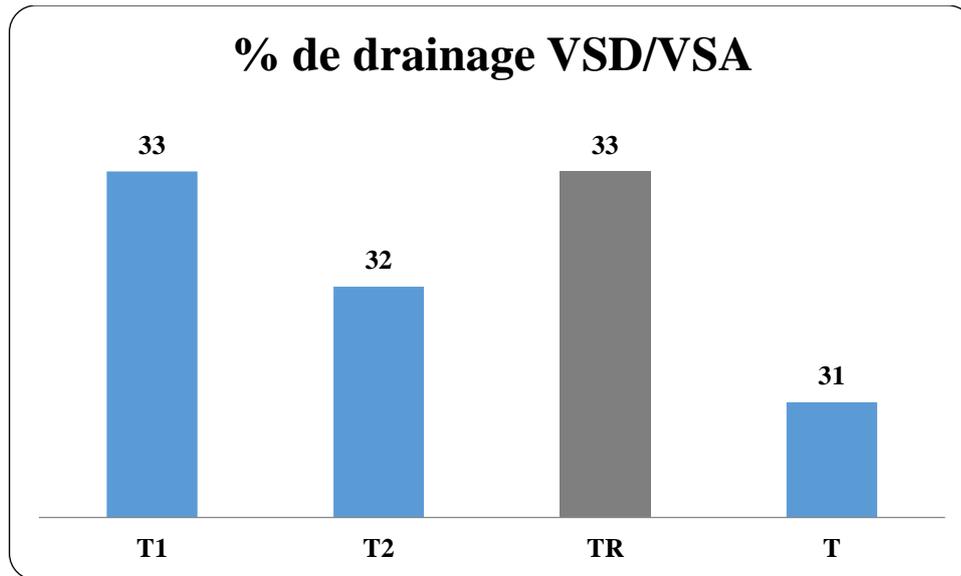


Figure n° 25: pourcentage de drainage (VSD / VSA)

1.2 Caractéristiques chimiques des substrats

1.2.1 Conductivité électrique (EC) et pH de drainage

1.2.1.1 EC de drainage avant la fertilisation

Au début de plantation de nos plantes (mois de janvier), la température était basse, les plantes sont faibles et les traitements contiennent de la terre végétale, ont été pas obligés de fertiliser les traitements. Mais après un certain temps et d'après les valeurs d'EC et pH, il fallait le faire pour renforcer les plantes.

Selon Skiredj (2005), l'intervalle d'EC idéal est compris entre 1.5 et 2.5 mS/cm pour avoir une meilleure croissance des plantes et une excellente assimilation. Une EC > à 2,5 évitera l'absorption des nutriments. Ceci est dû à la pression osmotique. Une EC < à 1,5 affecte gravement la croissance et le rendement des plantes.

D'après l'histogramme de la figure 26, nous constatons que les valeurs d'EC de deux de nos traitements (avec le TR) et même avant de fertiliser sont incluses dans ce domaine, sauf T2 (2,54) mais on peut accepter cette valeur car elle est très proche de 1,5. Donc pas de nécessité de fertiliser.

La valeur la plus faible a été remarqué pour T1 (1,62), c'est sûr avec le temps elle va encore diminuer ($< 1,5$) (figures 26).

Cela est remarqué pour tous les traitements même le terreau (TR). Une chute d'EC a des valeurs < 1 mS/cm, donc une carence en matières nutritives et sels minéraux, donc l'obligation de fertiliser (figure 27).

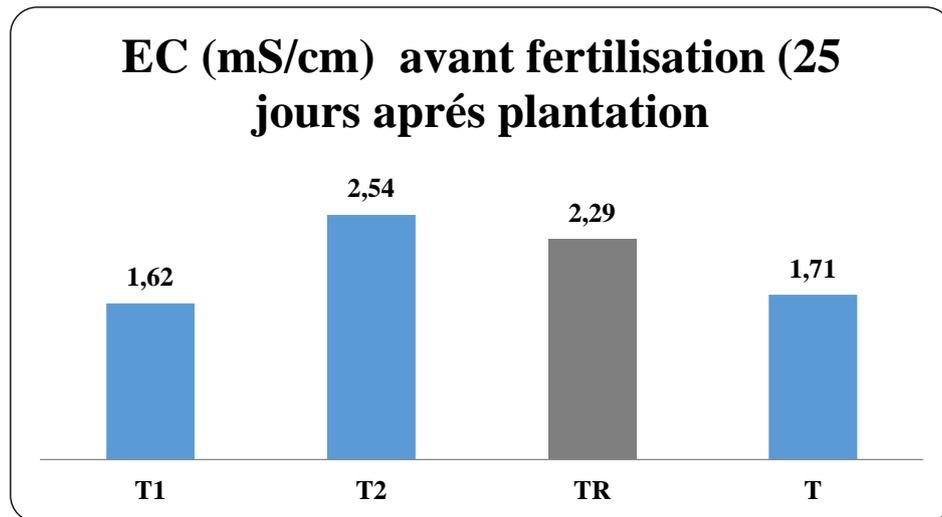


Figure n° 26 : EC de drainage avant fertilisation (25 jours après plantation)

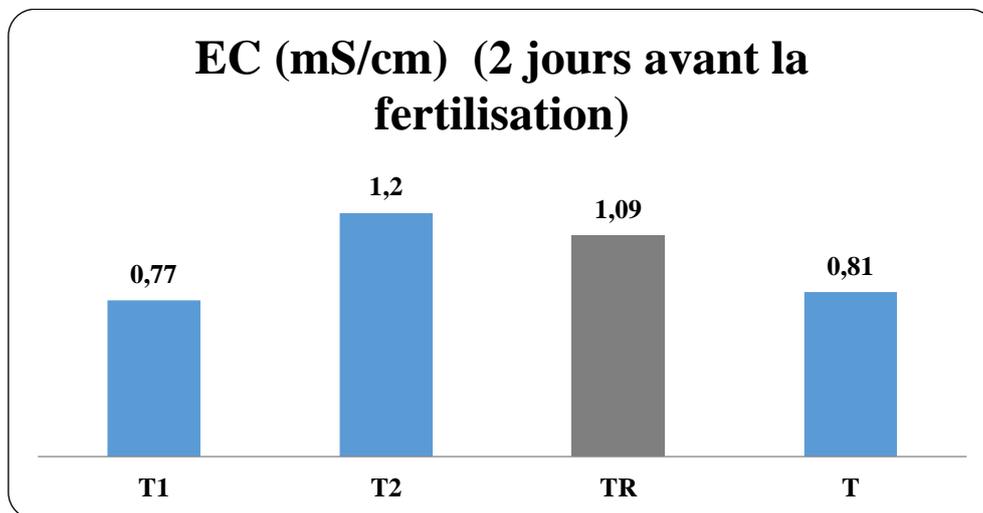


Figure n° 27: EC de drainage (2 jours avant la fertilisation)

Avant le commencement de la fertilisation, Une carence et manque de croissance a été remarqué pour la majorité des plantes de fraise, voir la figure 28.



Figure n° 28 : plante de fraise avant fertilisation

1.2.1.2 pH de drainage avant fertilisation

Après presque 1 mois de plantations des plantes de fraise dans les pots, les valeurs de pH sont défavorables à la culture hors sol. Selon (Sonneveld, 2002) le pH favorable pour une absorption totale de tous les oligoéléments et les macroéléments se situe entre 5.5 et 6.5 (jusqu'à 6,8).

En dépassant 3, on va avoir une salinité du traitement. D'après le graphe ci-dessous, nous remarquons que nos traitements ont des valeurs défavorables pour une telle culture (supérieures à 7 mais < à 8). On constate que les plantes commencent à utiliser le nitrogène disponible dans le sol, par conséquent, le pH augmente et doit être plus tard corrigé et contrôlé avant chaque irrigation par l'ajout d'acide nitrique HNO_3 .

La seule valeur qui se rapproche de 6,5 est celle de TR (6,71) mais < à 6,80

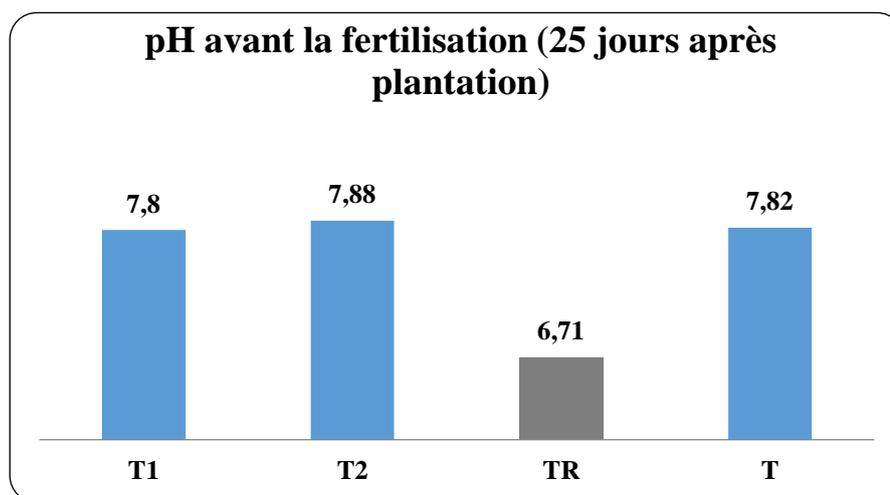


Figure n°29 : pH de drainage avant la fertilisation (25 jours après plantation)

Dans la figure 30, avant juste de commencer la fertilisation, encore un déficit dans l'azote et augmentation de pH (cela peut être due aussi au pH de l'eau de citerne)

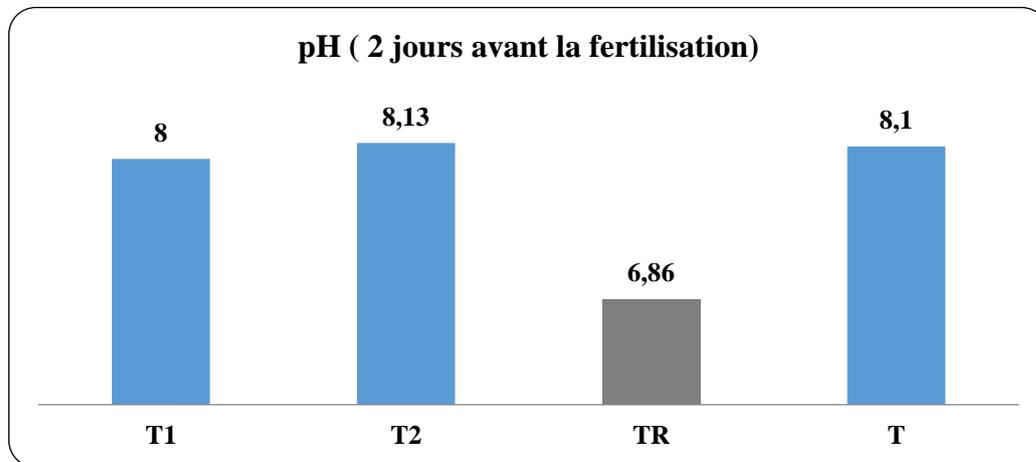


Figure n° 30 : pH de drainage (2 jours avant la fertilisation)

1.2.1.3 EC de drainage après fertilisation

Maintenant après la fertilisation en respectant exactement le % de drainage avec les 3 solutions nutritives et pour la suite de toutes les mesures réalisés, on a étudié les résultats d'une forme de moyennes statistiques avec le logiciel ELLISTAT au lieu de moyennes normales et cela pour donner une fiabilité aux résultats obtenus.

Le Début de fertilisation de la fraise avec les 3 solutions nutritives était le 16/04/2020

On note ici même pour le pH, on a fait plusieurs tableaux pour la mesure de pH et EC (voir annexe), mais toujours on trouve deux types de tableaux : parfois des valeurs normales et parfois une augmentation, donc il faut faire un lessivage pendant 2 ou 3 jours pour abaisser EC et pH, cette opération est appelée : pilotage de l'irrigation avec la solution nutritive.

La comparaison multiple des moyennes (figure 17) nous a révélé 3 groupes (A, AB et B). A pour T1S3, T2S3 et TS3 avec 2,92 ; 2,90 et 2,88 respectivement. AB pour 4 traitements et enfin B pour le reste.

D'après ces résultats, nous constatons que les meilleures valeurs sont obtenues pour : T1S1, T1S2, T2S1 (le meilleur : 1,96), T2S2 et TS1, par contre le TR présente des valeurs > à 2,5 mS/cm, cela peut être due à sa composition. Généralement, pour toutes les valeurs d'EC, on n'a pas dépassé 3.

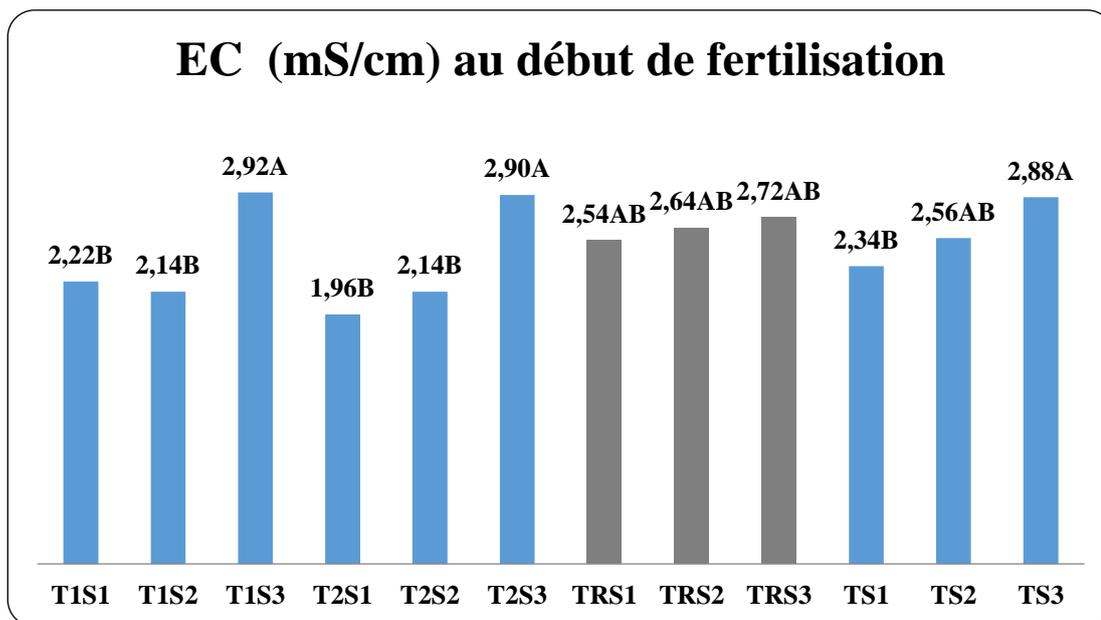


Figure n° 31 : EC de drainage après fertilisation

Nous avons remarqué aussi 2 périodes d’augmentation d’EC et pH et cela pendant les moments chaudes. Juste après, on fait un lessivage de toutes les plantes avec la même quantité d’eau pendant 2 ou 3 jours pour abaisser le pH et EC (figures 32 et 34).

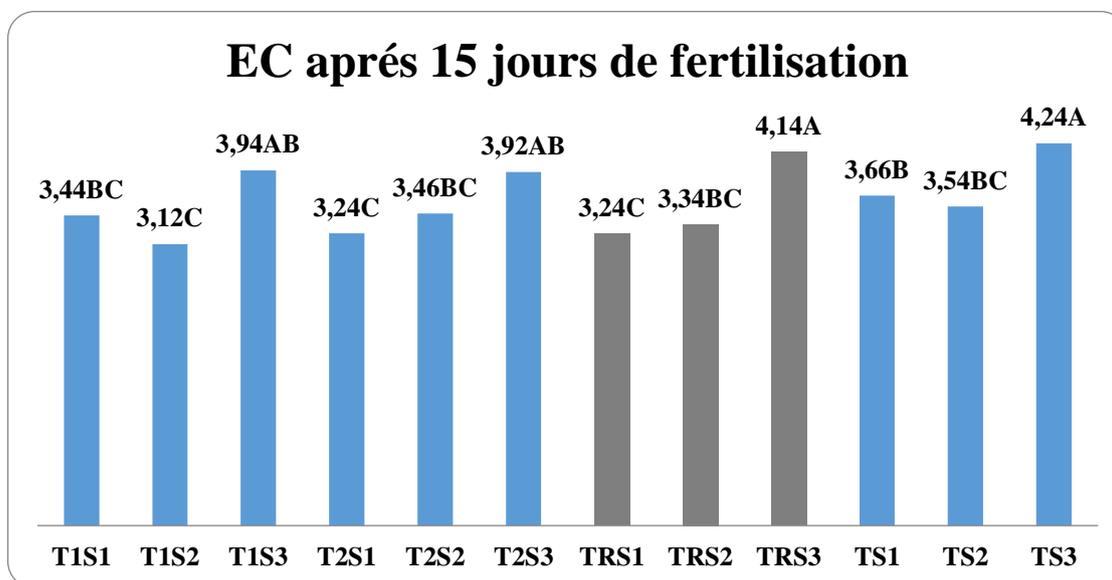


Figure n° 32 : EC de drainage après 15 jours de fertilisation

La comparaison multiple des moyennes (figure 32) montre qu’il existe 5 groupes différents : A, B, AB, BC et C. La valeur la plus haute était remarquée pour TRS3 avec une valeur de 4,14 à cause de la température dans la serre qui a dépassé 36 °C dans les premiers

jours du mois de Mai. Cette valeur d'EC peut causer des dégâts pour la plante et même brûler les racines, on voit une accumulation totale des sels minéraux autour des racines. Tous les traitements ont dépassé 3 mS/cm. La faible valeur est pour T1S2 (3,12).

Selon **Choi et Latigui(2008)**, quand la salinité est faible : l'eau rentre facilement dans la racine pour diluer la concentration cellulaire en ions. Quand la salinité est très forte autour de la racine, la pression osmotique pousse l'eau à quitter le milieu racinaire pour diluer la forte concentration extérieure.

1.2.1.4 pH de drainage après fertilisation

Ici aussi, la comparaison multiple des moyennes nous a amené à avoir 4 groupes différents : A ; B ; AB et C. les meilleurs valeurs sont obtenues pour le terreau avec ses 3 solutions : TRS1 (5,76), TRS2 (5,80) et TRS3 (5,88) respectivement. T2S1 a un pH aussi idéal (5,83), mais pour T2S3, sa valeur de pH est la plus grande, mais tous les pH sont inférieurs à 6,80.

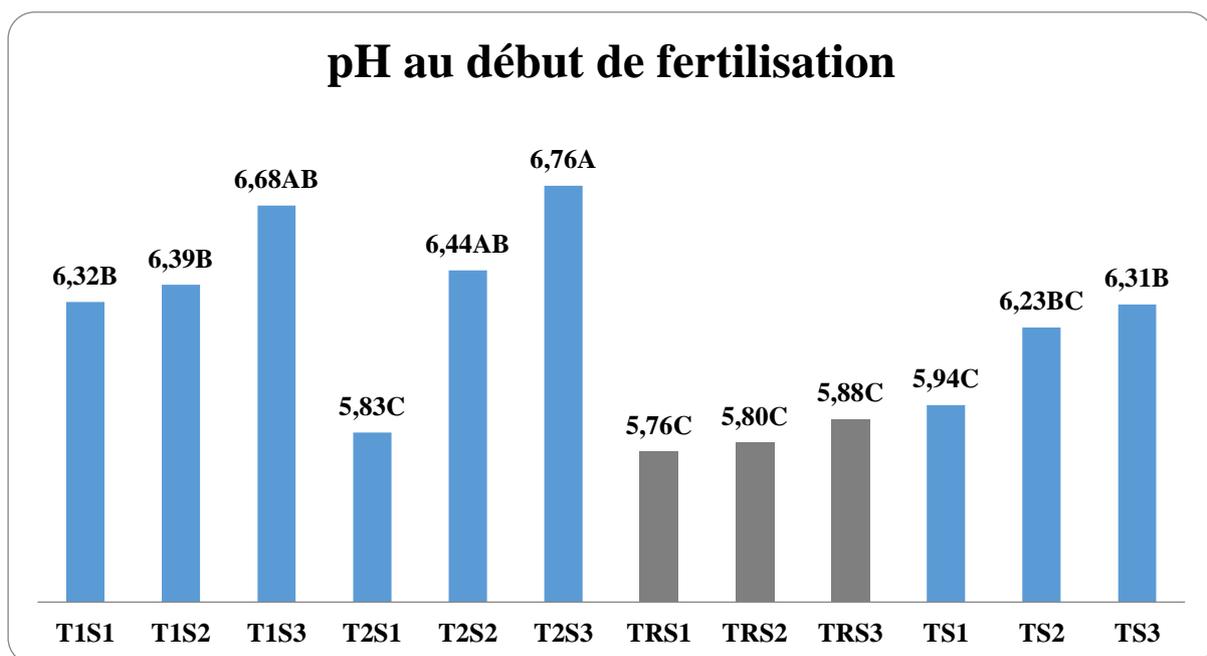


Figure n° 33: pH de drainage après fertilisation

Après 15 jours, jusqu'à 20 jours (Début du mois de Mai) où la température est élevée, on a aussi une augmentation des valeurs de pH qui ont parfois dépassé 7. Ici dans le diagramme de la figure N° 13, on a révélé 4 groupes différents : A, B, BC et C. la moindre valeur et qui représente une valeur idéale dans un climat chaud est TS1 (5,95), le TR aussi à un pH stable < 6,5.

Trois traitements seulement qui ont des pH > à 7 (la plus grande est celle de T1S3 : 7,19), mais en général ces augmentations sont loin d'être dangereuses au contraire des valeurs d'EC qui se touche directement avec la variation de température.

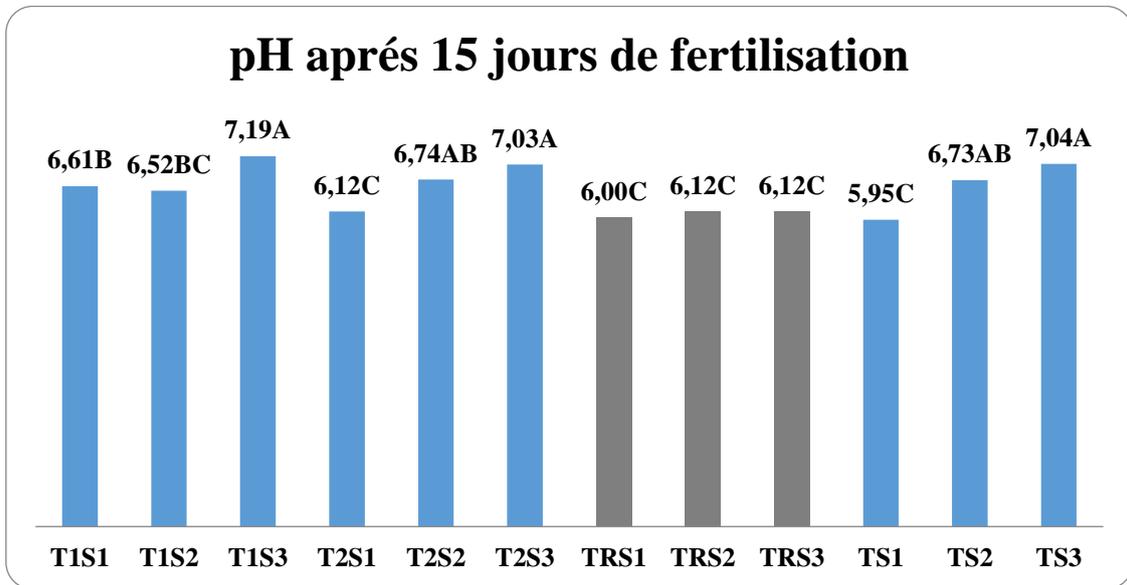


Figure n° 34 : pH de drainage après 15 jours de fertilisation

Après 1 mois de fertilisation, on a remarqué une forte variation dans l'allure des plantes avec une floration (figure 35 et 36). La couleur des feuilles sont plus vertes et le calibre est plus grand. On a remarqué aussi l'existence des abeilles pour la pollinisation. L'ouverture de la serre chaque jour est indispensable, soit pour l'aération, soit pour la pollinisation.



Figure n° 35: plante de fraise après fertilisation



Figure n° 36: Pollinisation de fraise par les abeilles et les bourdons

2. Etude Morpho-physiologie de fraise (plante et fruits)

2.1 Système racinaire

2.1.1 Longueur des racines

D’après la comparaison des moyennes (figure37) pour la longueur des racines, nous a donné statiquement 5 groupes (A, B, AB, BC et C). La plus grande valeur était remarquée pour TR (32,4 cm), puis T2S1 avec 31 cm. La faible valeur est pour TS2 (17,3 cm).

Donc, on comparant avec le terreau, T2S1 est largement favorable pour une croissance optimale des racines.

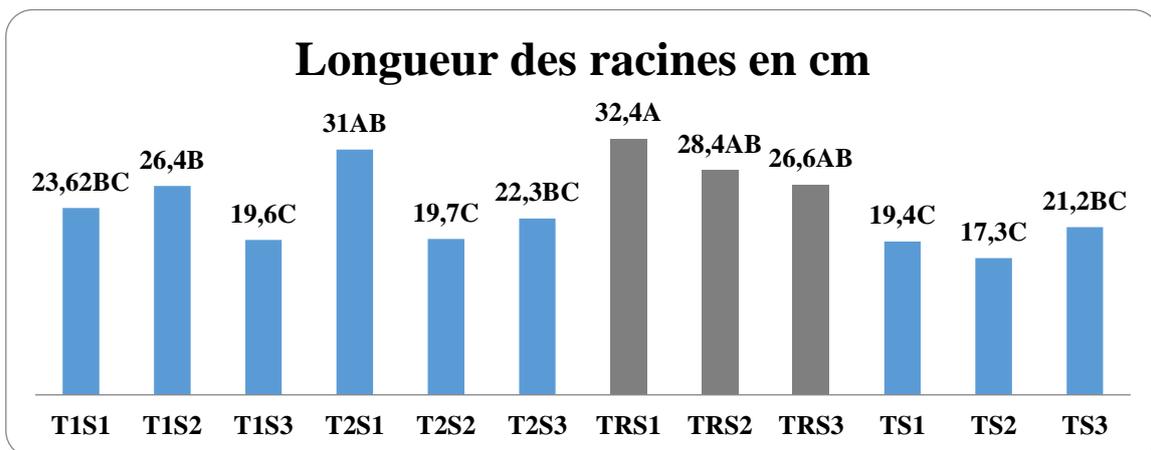


Figure n°37: longueur des racines (cm) de Fraise

On peut aussi faire une comparaison des 4 traitements en fonction de la concentration de la solution nutritive (S1, S2 et S3). Pour T1S1, T2S1, TRS1 et TS1, on trouve la meilleure

valeur pour TRS1 (32,4) puis T2S1 (31). Si on prend T1S2, T2S2, TRS2 et TS2, la valeur de TRS2 (28,4) est la plus grande suivie par T1S2 (26,4). Enfin, pour T1S3, T2S3, TRS3 et TS3, une valeur prédominante de TRS3 (26,6) et ensuite T2S3 (22,3)

2.1.2 Volume des racines

Le diagramme de la Figure38 pour les 12 traitements différents (de T1S1 jusqu'à TS3) montre l'existence de 5 groupes différents (A, B, C, D et CD). Les volumes les plus élevés sont ceux de TRS1 et TS1 avec une très faible valeur entre eux (12,44 et 12,42 ml respectivement). Cela veut dire pour notre culture hors sol, le volume racine est favorisé pour un traitement riche en terre végétale (TS1) avec une solution nutritive de drainage 70%. T2S1 présente la moindre valeur (3,48 ml).

Selon **Lacroix (1998)**. L'augmentation de la densité racinaire est liée au développement beaucoup plus des racines latérales. Donc, le substrat T3 constitue les conditions très favorables pour la culture hors sol.

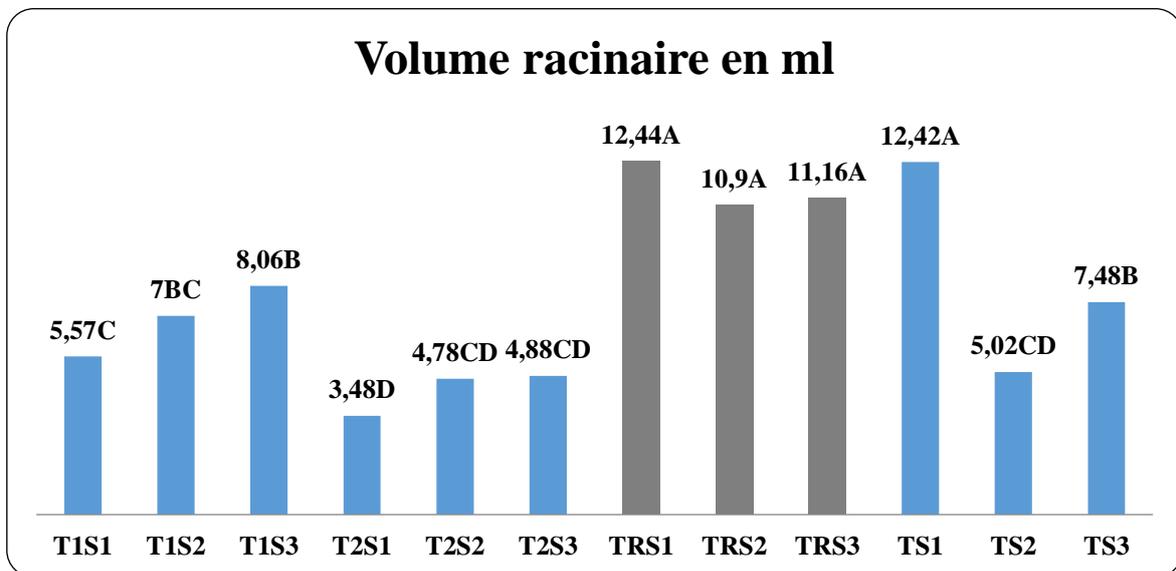


Figure n° 38 : Volume des racines (ml)

La figure 39 prouve les résultats du diagramme précédent où on remarque bien clair la forme et le volume des racines, surtout pour TR, il présente une grande forme. Aussi pour T1S1



Figure n° 39: Forme et longueur des racines, de gauche à droite

(S1 (70%) : T1, T2, T, TR ; S2 (100%) : T1, T2, T, TR et S3 (130%) : T1, T2, T, TR)

2.1.3 Distribution des racines

C'est le rapport entre le volume racinaire supérieur / l'inférieur coupé au milieu exactement. Cela nous donne une idée parfaite sur la distribution des racines dans ces deux parties. Les chiffres montrent la zone la plus grande qui a absorbée les nutriments.

Selon **Marschner (1986)** la distribution des racines dans un substrat peut être modifiée en fonction de l'emplacement des éléments minéraux.

En utilisant un entonnoir de 10 ml pour la partie inférieure et un autre plus grand pour la partie supérieure, on a mesuré tous les racines (figure 39). Ici, on a 3 groupes (A, B et C). Le TRS1 à la valeur la plus haute (9,36), c'est-à-dire la croissance des racines dans la partie supérieure est 9 fois plus que l'inférieur. La deuxième distribution remarquable est celle de T2S2 (5,65). T1S3 présente la faible valeur (1,68) mais il nous donne une idée sur l'équilibre entre les deux parties racinaires et par conséquent une bonne assimilation d'engrais dans toute la racine.

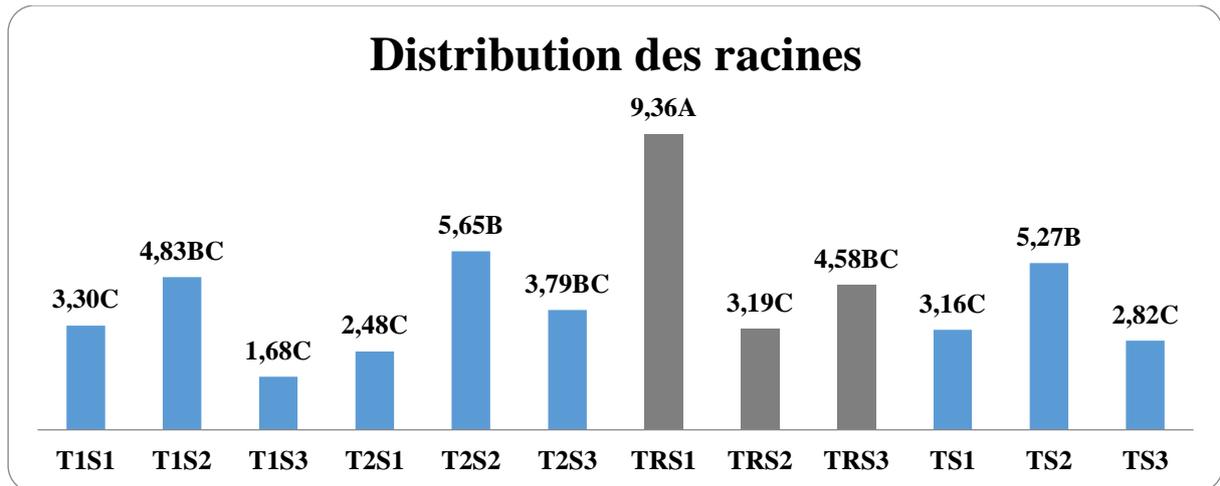


Figure n° 40: Distribution des racines de la plante de fraise

2.1.4 Poids des fruits

En réalité, le but principal de n'importe quelle culture, hors sol ou autre c'est la production. Dans notre cas, nous avons allé jusqu'à la récolte des fruits (figure 41). Le calibre des fruits est presque homogène d'un calibre moyen, parfois grand, de couleur rouge. Une étude de dégustation peut être ajoutée. On a fait la récolte des fruits deux fois, le diagramme suivant donne le pois global de récolte.



Figure n° 41: Fruits mûrés du fraisier

L'observation des moyennes nos donne 3 groupes différents : A, B et AB. Le meilleur rendement a été remarqué pour TRS2 (75,5) grammes, puis directement, T1S3 avec 71,5 grammes. La moindre valeur est pour T1S1 (26,52) grammes. Ici, généralement S3 (130%)

favorise une bonne production sauf pour le traitement T où on trouve TS2.

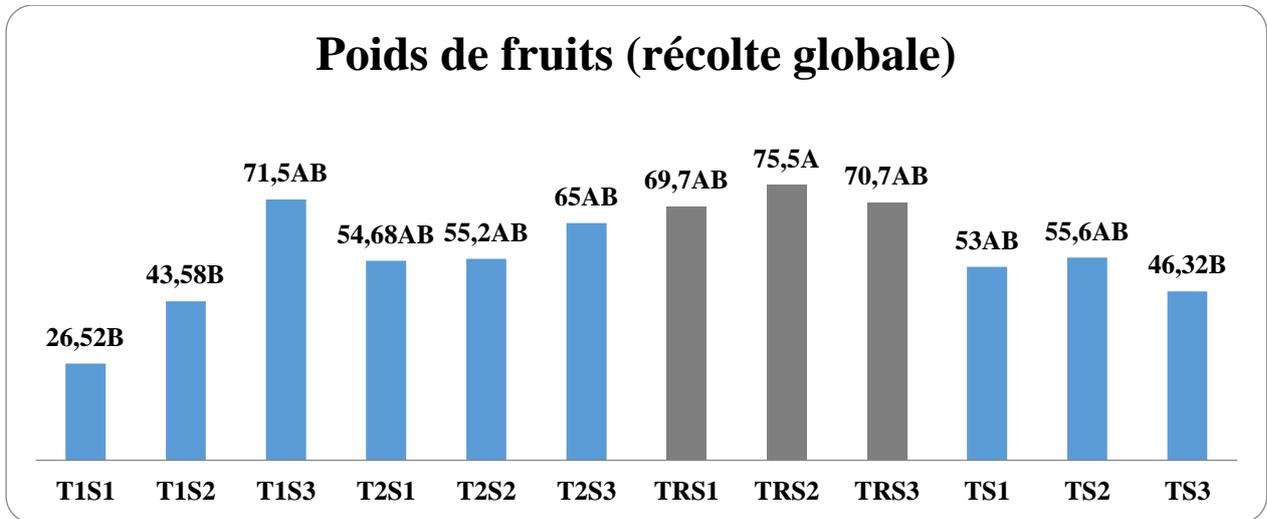


Figure n° 42: Poids des fruits maturés

La comparaison visuelle de la forme et la tailles des fruits de fraise est représentée en dessous. Pour S1, T2 et T sont les mouilleurs. Pour S2, c’est T2. Enfin, S3, T1, T2 et T présentent une bonne forme et un bon calibre. Généralement, l’étude de la forme, le gout, la couleur... peut nous donner une bonne idée sur le produit final et c’est ça le but en réalité.



Figure n° 43: Meilleur fruit en fonction du Traitement et solution, de gauche à droite :

T1,T2,TR,T (S1 : 70%) , T1,T2,TR,T (S2 : 100%) et T1,T2,TR,T (S3 : 130%)

Une autre comparaison, toujours pour les 12 traitements, c’est la morphologie des plantes. La figure 30 nous donne une idée. Il se voit clair pour S1, TR et T2 sont les plantes qui attirent l’attention. Si on regarde S2, TR et T1, puis T2 et T. pour S3 : c’est TR et T2. Ces photos sont prix à titre de comparaison et dans le dernier stade de fructification.



Figure n° 44: De gauche à droite, meilleures plantes : S1 (70%) : T1, T2, T, TR ;
S2 (100%) : T1, T2, T, TR et S3 (130%) : T1, T2, T, TR)

2.1.5 Matière sèche des racines

La matière sèche (MS) que l'on obtient lorsqu'on retire l'eau d'un produit. Son % est le rapport entre la masse de la matière sèche et la masse de la matière non sèche (hydratée). On le symbolise par (% MS). On la calcule en soustrayant du poids à sec après un séchage à 105 °C pendant 24 heures dans étuve.

La répartition et le taux de la MS dans la plante ou dans les racines est un phénomène complexe. Il a des liaisons avec plusieurs facteurs, soit le sol lui-même ou même la fertilisation surtout avec l'azote (N). Des travaux antérieurs sur cette relation pour le fraisier dans le sol naturel ont été faites. La présence de nitrogène dans la fertilisation influence directement sur le % de la MS (racines ou feuilles...). Selon (**Raynal, 2012**), le fraisier qui a été bien fertilisé avec l'azote non en excès a les % de la MS suivantes : dans les racines, les radicelles, les feuilles ou les organes fructifères (de 5 à 35%).

Les résultats obtenus pour le calcul de la MS des racines de nos plantes riches en azotes coïncident avec celles de (**Raynal, 2012**).

Le diagramme de la figure 45 est divisé en 4 groupes différents : A, B, AB et C. toutes les valeurs sont entre 5% et 30% sauf T1S2 qui présente la valeur la plus élevée (31,30%) mais elle est très proche de 30%.

Les valeurs les plus faibles sont celles de la terre végétale (terre végétale + fibres). Donc ce traitement ne favorise pas un grand % en MS mais son Humidité (le complément de MS / 100%) est élevée. La valeur moyenne c'est pour TRS2 (25%). On peut encore faire une comparaison détaillée selon les trois concentrations de la solution nutritive.

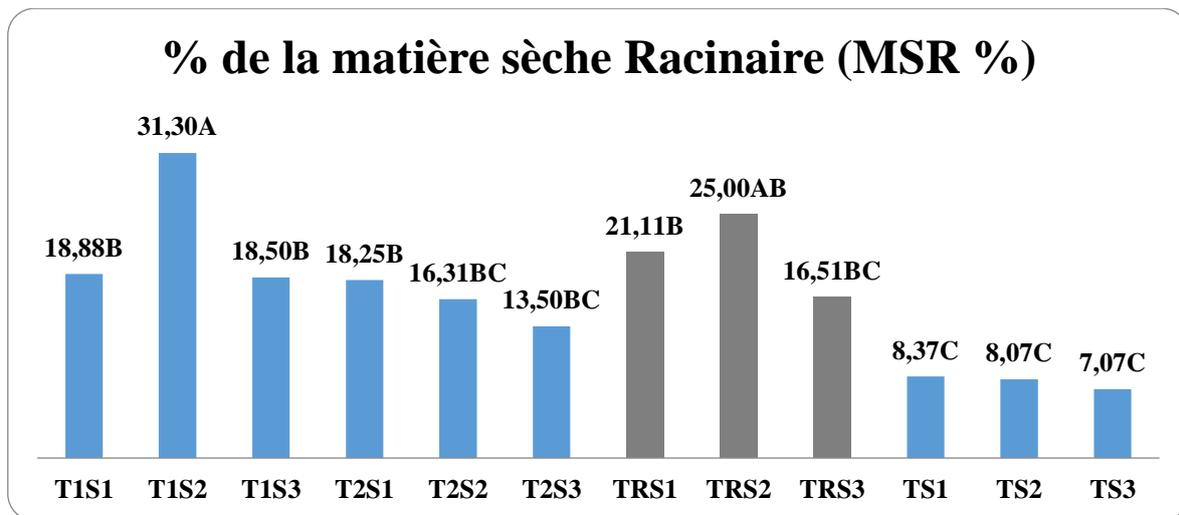


Figure n° 45: % de la MS des racines

3. Température et Humidité dans la serre (Mois de Mai)

A l'aide d'un thermo-hygromètre numérique (voir annexe), on a suivi la variation quotidienne de la température et l'humidité dans la serre à 15H du soir (l'heure au T et HR ont les valeurs maximales). On sait que ces deux paramètres influents directement sur EC et pH. On a remarqué un déficit dans ces valeurs dans deux périodes différentes (au début et à la fin du mois de Mai) à cause de l'augmentation de la température dans la serre (40 °C) et la diminution de l'humidité relative (18%).

En général, la température joue un rôle très important dans les divers processus : photosynthèse, respiration et développement des plantes. Son effet sur la plante peut être différent selon les niveaux de rayonnement global, de (CO₂) et du taux d'humidité ; sans oublier le stade de la culture et la variété. Globalement, la température optimale pour la photosynthèse est autour de la température ambiante. Au-delà de 30 °C, si l'aération n'est pas optimale (baisse de CO₂), la photo-respiration augmente et la photosynthèse diminue. La fabrication des sucres est alors fortement réduite et il y a une forte accumulation des minéraux autour des racines (EC augmente). Pour l'humidité aussi, une augmentation au-delà de 80% cause des maladies foliaires et un stress chez les plantes. Une valeur < 35 %, l'air est sec, on a aussi le risque de brûlure des feuilles et stress des plantes (**Denise, 1987**).

Les figures (46 et 47) montrent la variation de T et HR% pendant 28 jours du mois de Mai (Fin de culture). La remarque pour T, c'est qu'on a deux périodes différentes d'augmentation de températures à des valeurs > à 30 °C, la première au début du mois

pendant 3 jours (jusqu'à 36 °C) et la deuxième à la fin du mois pendant une semaine (jusqu'à 40 °C). Dans ces deux périodes, on a remarqué une altération dans les valeurs de pH et EC selon l'étude précédente (figures 18 et 20), ou pH > 7 et EC > 3,5

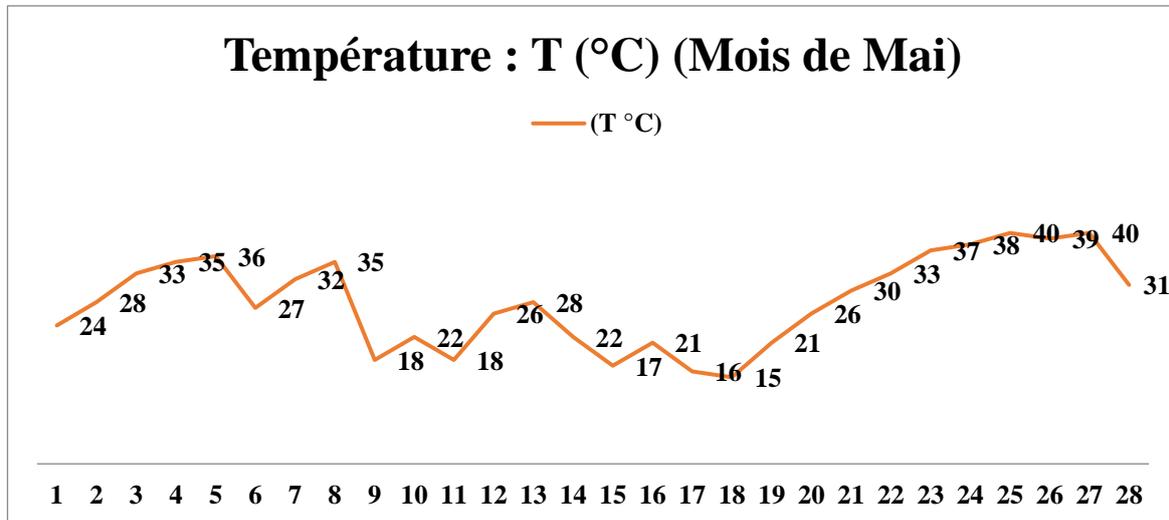


Figure n° 46 : Température dans la serre à 15H du soir (Mois de Mai)

D'un autre coté dans la même période, on a remarqué l'inverse pour l'humidité, une diminution de HR jusqu'à 22% pendant la première période et une chute à 18% dans la deuxième période. Ce climat très sec influe directement soit sur la partie aérienne, soit sur le traitement lui-même. Par contre la valeur la plus haute a été prise, le 18 et le 19 Mai (pluies fortes)

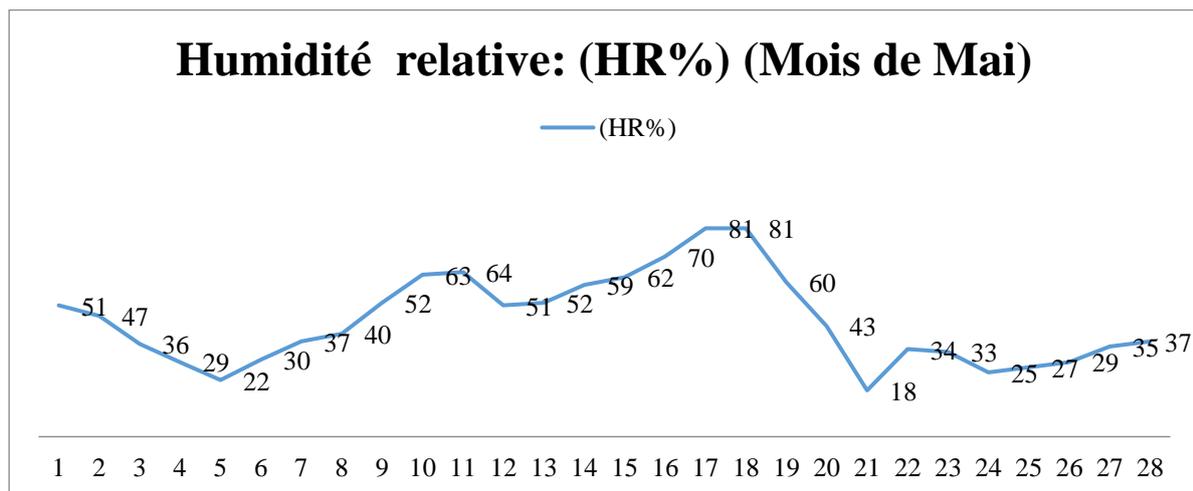


Figure n° 47 : Humidité relative dans la serre à 15H du soir (Mois de Mai)

Conclusion générale

Conclusion générale

L'agriculture hors sol est devenue maintenant une technologie et un produit très demandé dans le monde entier. Il répond avec exactitude aux besoins des plantes qui sont cultivées dans un environnement protégé et contrôlé sous serre. Dans nos jours, beaucoup d'agriculteurs s'intègrent dans ce genre de culture qui ne subit pas les aléas du climat malgré sa difficulté parfois pour contrôler le pH et EC et la solution nutritive.

L'utilisation des nouveaux substrats qui ont des caractéristiques physico-chimiques parfaits a permis d'atteindre les meilleurs produits possibles et pour plusieurs types de légumes.

En utilisant trois mélanges différents (Traitements) et le Terreau commercial (le témoin) pour la culture du fraise par la méthode hors sol sur un support et dans des pots bien adaptés et avec des pourcentages, nous avons ce qu'on appelle un pilotage quotidien de l'irrigation avec des éléments nutritifs dans un milieu acide pour optimiser la croissance de nos plantes (Engrais + acide nitrique) avec contrôle régulier de pH et EC.

Pendant et à la fin de cette étude et après analyse de plusieurs paramètres physico-chimiques et morphologiques, nous avons trouvés les résultats suivants :

La matière sèche et le taux d'humidité des 04 traitements étaient différents, le traitement TR (terreau) présente la valeur la plus élevée avec un taux de 74,41%, cela est dû probablement à sa composition riche en tourbe et matière organique. En deuxième position, on trouve T avec 25,12% riche en terre végétale.

La densité apparente de nos traitements varie entre 0.11 et 0.46 g/cc. Ces valeurs coïncident avec ceux de (YAEGER, 1995) sauf le terreau (le plus léger) où il a montré que le domaine idéal pour les plantes serait entre 0.19 et 0.70 g/cc.

Le % de drainage des traitements ainsi que le terreau entrent dans le domaine 30 et 40 %. Selon (LATIGUI, 1992), un bon drainage devrait être inclus dans ce domaine. On a essayé de conserver avant chaque irrigation ces valeurs.

En réalité, les 2 paramètres qui donnent une bonne idée sur le pilotage de notre culture hors sol ainsi que l'irrigation sont le pH et la CE. Les résultats avant la fertilisation montrent un déficit ou une augmentation aléatoire dans ces deux paramètres. Au début les valeurs d'EC sont presque idéales, avec le temps, une chute libre. Le pH présente toujours une augmentation de sa valeur (> à 7 et à 8). Cela ne favorise jamais l'assimilation des produits

Conclusion générale

qui se trouvent dans la terre végétale. Donc, l'obligation de fertilisation (correction avec NPK (13.13.13) + oligo-éléments et HNO₃).

Pour notre fraise, le pH trouvé après fertilisation de tous nos traitements se trouve dans la fourchette : 5.5 à 6.8. EC parfois dépasse 2,50 mais on n'a pas dépassé 3 mS/cm. Dans les moments chaudes, les résultats donnent un pH > à 7 et un EC au voisinage de 4 et cela pendant deux périodes différentes dans le mois de Mai qui ont présentés des fortes valeurs de chaleur (40 °C) et faible humidité relative (18 %). Donc, on a réalisé deux fois un fort lessivage pour abaisser ces valeurs). On note toujours que ce n'est pas facile après fertilisation de faire toujours diminuer ces deux paramètres vers le domaine idéal, il faut contrôler chaque jour.

L'étude de la Morpho-physiologie des plantes de fraise (longueur des racines, volume racinaire, distribution des racines, poids des fruits, matière sèche racinaire...) a donné les résultats suivants :

- Pour la longueur des plantes, la plus grande valeur était remarquée pour TR (32,4 cm), puis T2S1 avec 31 cm. La faible valeur est pour TS2 (17,3 cm).
- Les volumes les plus élevés sont ceux de TRS1 et TS1 avec une très faible valeur entre eux (12,44 et 12,42 ml respectivement).
- Pour la distribution des racines, le TRS1 à la valeur la plus haute (9,36)
- Ce qui concerne le poids des fruits, le meilleur rendement a été remarqué pour TRS2 (75,5) gr, puis T1S3 avec 71,5 gr. La moindre valeur est pour T1S1 (26,52) gr
- Les résultats obtenus pour le calcul de la MS des racines de nos plantes riches en azotes coïncident avec celles de **(Raynal, 2012)**. Toutes les valeurs sont entre 5% et 30% sauf T1S2 qui présente la valeur la plus élevée (31,30%) mais elle très proche de 30%.

On a essayé aussi tout au cours de notre travail de renforcer notre expérience avec des photos (pour les racines, les plantes et fruits...) et voir la différence visuelle entre les résultats obtenus. On aimerait aussi de compléter notre étude avec un test de dégustation pour juger la qualité de notre produit final.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ✚ **Abdelhadi K ., Ahmed L ., Kamel M ., Belgacem S., Aek D.,2012 .**Use of Sewage Sludge and Fiber Palm Co-compost as Components of Substrates *Lycopersicum esculentum* and *Cucumis melo* Cultivated in Soilless Crop , February 2012, *American Journal of Plant Physiology* 7(2):97-103 ; DOI: 10.3923/ajpp.2012.97.103
- ✚ **Alaoui S.B., 2005.** Référentiel pour la Conduite Technique du palmier dattier. In "Référentiel de Conduite Technique des Principales Cultures au Maroc". Éditeurs : Si Bennasseur Alaoui et Ajiro Yasuhei. 102-112.
- ✚ **Aquavet., 2014.** Description du système aquaponique. Introduction de l'aquaponie dans l'enseignement et la formation professionnelle : instruments, unités d'enseignement et formation des enseignant, 21p.
- ✚ **Benmansour N., 2011.** Etude des performances de produits renouvelables et locaux adaptés aux applications de l'isolation thermique dans le bâtiment. Mémoire de magister, Faculté des sciences, Université El Hadj Lakhdar (Algérie).
- ✚ **Blanc D., 1987 :** Les cultures hors sol. *ED. INRA.* Paris. 409p.
- ✚ **Charles G., 1994.** Diagnostic de la carence phosphorique des 1989sols par symptomatologie végétale annales de l'INA vol 22 p 119-121.
- ✚ **Chouard P., Renaud V., 1961.** Mise au point de cultures hydroponiques au Sahara : premiers résultats obtenus CR. Acad. Agr. Fr., 47p :922-1013.
- ✚ **Djerbi M., 1994.** Précis de phoeniciculture. FAO, 192 p.
- ✚ **Dudley H., 1983.** Hydroponic: growing plants without soil. *Ed. David and Charles Ltd-U. K* 218p.
- ✚ **Geoffray J.M., Valladeau R., 1977 :** Morphologie et couleur des pouzzolanes. Bulletin de liaison des Laboratoires de ponts et chaussées-92-nov-déc1977- réf. 2116. pp91-94.
- ✚ **Ghrici M., Kenai S., Said Mansour M., 2007** Cem. Concr. Comp. 29 524.
- ✚ **Haddad M., 2009.** Un compost à base de sous-produit du palmier dattier comme substrat pour les cultures protégées ; ASOC : Association de sauvegarde de l'Oasis de Chenini.
- ✚ **Jeannequin B., 1992 :** Les plastiques en agriculture. *ED.C. A. Prévue horticole.*
- ✚ **Kareche A., 2014.** Etude des matériaux à base de bois de palmier dattier-durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert. Mémoire de magister, Faculté de Technologie, Université El Hadj Lakhdar (Algérie).

- ✚ **Kodjo., 2015.** La culture hors sol ou hydroponie : une technique à vulgariser. Production végétale ANADRER/DR Sud (Abidjan), 3p.
- ✚ **Kriker A., Debicki G., Bali A., Khenfer M.M., Chabannet M., 2005.** Mechanical properties of date palm fibers and reinforced date palm fiber concrete in hot-dry climate. *Cem Concr Compos* 2005; 27(5):554-564.
- ✚ **Laoufi L., 2002.** Contribution à l'étude des caractéristiques physicomécaniques des bétons pouzzolaniques à base de pouzzolane de Béni-Saf. Thèse de magister de l'École Normale Supérieure de l'Enseignement Technique d'Oran, Algérie.
- ✚ **Lemay I., Caron J., Dorais M., Pepin S., 2012.** Defining irrigation set points based on substrate properties for variable irrigation and constant matric potential devices in greenhouse tomato. *Hort Science*, 47(8), pp.1141–1152.
- ✚ **Maher M., Prasad M., Raviv M., 2008.** Chapter 11: Organic soilless media components. In *Soilless Culture: Theory and Practice*. Amsterdam: Elsevier B.V., pp. 459–504.
- ✚ **Maxwell K., 1986.** Soil (hydroponie) culture: the past present and future, an Australian viewpoint. *Soilless culture*, vol.2, n1. 29-34.
- ✚ **Mebrouki A., 2003.** «Influence de la pouzzolane de Beni-Saf sur les caractéristiques mécaniques des mortiers » thèse de Magister- Université Mostaganem - juin 2003.
- ✚ **Mikulic-Petkovsek M1., Schmitzer V., Slatnar A., Stampar F., Veberic R.,2012.** Composition of sugars, organic acids, and total phenolics in 25 wild or cultivated berry species. *J Food Sci.* 2012 Oct; 77(10):C1064-70.
- ✚ **Mishra R., Kar A., 2014.** Effect of storage on the physicochemical and flavour attributes of two cultivars of strawberry cultivated in northern India. *Scientific World Journal*. 2014 Jan 23; 2014:794926.
- ✚ **MORARD P., 1995.** Les cultures végétales hors sol .Ed. *Lavoisier*, 208p. Développement, génétique et amélioration. *Ed. Lavoisierp* 75-78.
- ✚ **Munier P., 1973.** Le palmier dattier. *Ed G-P Maisonneuve, la rose. Paris*.
- ✚ **Ornelas-Paz Jde J1., Yahia EM., Ramírez-Bustamante N., Pérez-Martínez JD., Escalante-Minakata Mdel P., Ibarra-Junquera V., Acosta-Muñiz C., Guerrero-Prieto V., Ochoa-Reyes E.,2013.** Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. *Food Chem*. 2013 May 1;138(1):372-81.

- ✚ **Papadopoulos A.P., 2008.** Chapter 12: Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixes. In *Soilless Culture: Theory and Practice*. Amsterdam: Elsevier B.V., pp. 505–543.
- ✚ **Robin P., 1998** : horticulture sans sol, histoire et actualité. Cahier d'économie et sociologie rurale. N° 46-47. P 98-129.
- ✚ **Schwieterman ML1., Colquhoun TA2., Jaworski EA3., Bartoshuk LM4., Gilbert JL5., Tieman DM5., Odabasi AZ6., Moskowicz HR7., Folta KM8., Klee HJ8., Sims CA6., Whitaker VM9., Clark DG2., 2014.** *Strawberry flavor: diverse chemical compositions, a seasonal influence, and effects on sensory perception.* PLoS One. 2014 Feb 11;9(2):e88446.
- ✚ **Sersale R., 1980** : Structure et caractérisation des pouzzolanes et des cendres volantes.
- ✚ **SIDAB_2015**, e, ligne : http://sidab.caci.dz/?page_id=427
- ✚ **Snoussi SA., 1980** : caractérisation de quelques substrats disponibles dans la région d'Alger en vue de leurs utilisations en cultures hydroponiques. Thèse Ing Agro INA. Alger. P67.
Sous thème IV-1.7ème Congrès International de la chimie des ciments. Vol I. Paris, 1980.
- ✚ **Taallah B., Guettala A., Kriker A., 2017**; Research Laboratory Civil Engineering, University of Biskra, 07000 Biskra, Algeria ** E.V.R.N.Z.A Laboratory University of Ouargla, 30000 Ouargla, Algeria.
- ✚ **Thiault J.F., 2004** : La maîtrise de la culture hors sol. Bulletin Détail, n° 215. ED. CTIFL. ISSN 0758-4334.
- ✚ **Urban L., 1997** : Introduction à la production sous serre (L'irrigation fertilisante en culture hors sol). ED. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 210 p. 3 – 161 p.
- ✚ **Urban L., Urban I., 2010.** La production sous serre tome 2 l'irrigation fertilisante en culture hors sol. Paris. 233p.
- ✚ **Wallach R., 2008.** Chapter 3: Physical characteristics of soilless media. In *Soilless Culture: Theory and Practice*. Amsterdam: Elsevier B.V., pp. 41–116.
- ✚ **Yves, 2008. In : Ouaret W., 2013.** Etude de substrats pour la production de la tomate en hors sol. Thèse Ing. Nat. Agro., EL-HARACH. 135p.

Annexe

Annexes

Date : 16 / 04 / 2020 à 10h00 (Fraise) : Debut de fertilisation avec les 3 solutions nutritives

Traitements	R1		R2		R3		R4		R5	
	EC	pH								
T1S1	1,90	6,28	1,90	6,30	2,00	6,24	2,00	6,27	1,90	6,26
T1S2	2,10	6,35	2,20	6,40	2,10	6,42	2,10	6,37	2,20	6,39
T1S3	2,90	6,71	3,00	6,65	2,80	6,67	3,00	6,70	2,90	6,68
T2S1	2,00	5,88	2,00	5,78	1,90	5,80	1,90	5,87	2,00	5,84
T2S2	2,10	6,47	2,20	6,44	2,10	6,41	2,20	6,42	2,10	6,46
T2S3	2,80	6,77	3,00	6,77	2,90	6,73	2,80	6,75	3,00	6,76
TRS1	2,50	5,73	2,60	5,77	2,50	5,79	2,50	5,78	2,60	5,74
TRS2	2,60	5,80	2,70	5,82	2,70	5,79	2,60	5,78	2,60	5,79
TRS3	2,70	5,87	2,70	5,88	2,80	5,90	2,70	5,89	2,70	5,88
TS1	2,40	5,94	2,20	5,89	2,40	5,98	2,30	5,97	2,40	5,90
TS2	2,50	6,25	2,50	6,19	2,60	6,22	2,70	6,23	2,50	6,24
TS3	2,80	6,35	3,00	6,28	2,80	6,31	2,90	6,33	2,90	6,29

1. Début de fertilisation avec les 3 solutions nutritives (EC et pH) : Valeurs normales

Date : 01 / 05 / 2020 à 10h00 (Fraise)

• Les valeurs d'EC ont dépassé 4 • Un bassinage de 2 litres pour chaque plante pendant 3 jours

Traitements	R1		R2		R3		R4		R5	
	EC	pH								
T1S1	3,40	6,45	3,40	6,50	3,50	6,48	3,40	6,49	3,50	6,47
T1S2	3,10	6,55	3,20	6,50	3,10	6,53	3,10	6,51	3,10	6,52
T1S3	3,90	7,10	4,00	7,15	4,00	7,25	3,90	7,20	3,90	7,25
T2S1	3,20	6,10	3,30	6,15	3,20	6,13	3,20	6,11	3,30	6,10
T2S2	3,40	6,75	3,50	6,70	3,50	6,78	3,40	6,75	3,50	6,72
T2S3	3,80	6,99	3,90	7,05	4,00	7,07	4,00	7,03	3,90	7,00
T4S1	3,20	5,98	3,20	6,00	3,30	6,04	3,30	6,00	3,20	5,99
T4S2	3,30	6,10	3,40	6,13	3,30	6,16	3,40	6,10	3,30	6,11
T4S3	4,10	6,05	4,10	6,12	4,20	6,18	4,20	6,09	4,10	6,14
T5S1	3,60	5,90	3,70	6,00	3,70	5,98	3,60	5,95	3,70	5,94
T5S2	3,50	6,70	3,50	6,75	3,60	6,73	3,50	6,75	3,60	6,71
T5S3	4,20	6,98	4,20	7,10	4,30	7,07	4,20	7,00	4,30	7,07

2. Après 15 jours de fertilisation : Augmentation d'EC et pH > à 7

Tableau 2 : Poids de Fruits (en Gramme) : PF

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	24,80	22,60	30,50	26,70	28,00
T1S2	37,00	52,60	41,70	38,70	47,90
T1S3	38,50	87,60	72,10	76,60	82,50
T2S1	56,60	51,20	56,30	54,30	55,00
T2S2	44,40	56,20	59,80	57,40	58,20
T2S3	68,40	52,60	68,30	67,60	68,10
TRS1	50,80	61,80	81,70	75,20	79,00
TRS2	49,9	88,9	73,7	86,40	78,50
TRS3	43,60	60,30	87,5	83,12	78,90
TS1	34,40	50,40	63,50	56,40	60,20
TS2	71,60	32,60	50,80	55,80	67,40
TS3	38,70	40,80	55,80	45,60	50,70

3. Poids de Fruits (en Gramme) : PF

Tableau 3 : Longueur des racines (LR) : Le 28/05/2020

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	21	21	22	21	22
T1S2	26	26	27	26	27
T1S3	20	19	20	20	19
T2S1	31	32	31	30	31
T2S2	19,50	19,50	20	19,50	20
T2S3	22,50	22	22,50	22	22,50
TRS1	32	32	33	32	33
TRS2	28	28	29	29	28
TRS3	27	27	26	27	26
TS1	19	20	19	19	20
TS2	17,5	17	17,5	17,5	17
TS3	21	22	21	21	21

4. Longueur des racines (LR) : 28/05/2020

Tableau 4 : Volume des racines en ml (VR) : Le 28/05/2020

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	4,40	4,50	4,60	4,60	4,50
T1S2	7,00	6,90	7,20	7,00	6,90
T1S3	8,00	8,10	8,10	8,10	8,00
T2S1	3,50	3,40	3,60	3,50	3,40
T2S2	4,70	4,90	4,80	4,80	4,70
T2S3	4,80	5,00	4,90	4,90	4,80
TRS1	12,40	12,40	12,50	12,50	12,40
TRS2	10,80	10,90	11,00	11,00	10,80
TRS3	11,20	11,30	11,00	11,10	11,20
TS1	12,50	12,30	12,40	12,40	12,50
TS2	5,00	5,10	4,90	5,00	5,10
TS3	7,50	7,60	7,40	7,50	7,40

5. Volume des racines en ml (VR) : 28/05/2020**Distribution des racines**

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	1,83	1,91	1,76	1,76	1,91
T1S2	4,83	4,75	5,00	4,83	4,75
T1S3	1,66	1,70	1,70	1,70	1,66
T2S1	2,50	2,40	2,60	2,50	2,40
T2S2	5,71	5,12	5,85	5,85	5,71
T2S3	3,80	3,54	3,90	3,90	3,80
TRS1	9,33	9,33	9,41	9,41	9,33
TRS2	3,15	3,19	3,23	3,23	3,15
TRS3	4,60	4,65	4,50	4,55	4,60
TS1	3,16	3,24	3,13	3,13	3,16
TS2	5,25	5,37	5,12	5,25	5,37
TS3	2,75	2,80	2,89	2,75	2,89

6. Distribution des racines (DR)

matière sèche Racinaire (MSR)

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	9,72	10,81	10,00	10,00	9,72
T1S2	30,50	31,62	31,93	30,50	31,93
T1S3	18	19	18,81	18,71	18
T2S1	18,36	18,14	18,27	18,14	18,36
T2S2	16,66	16,96	15,89	16,13	15,89
T2S3	13,33	14,06	13,33	13,10	13,66
TRS1	20,93	21,59	20,64	20,93	21,46
TRS2	24,54	25,45	25	25,48	24,54
TRS3	16,36	16,07	16,96	16,36	16,81
TS1	8,18	8,55	8,18	8,40	8,55
TS2	8	8,2	8,04	8	8,12
TS3	7	7,2	7,05	7	7,08

7. matière sèche Racinaire (MSR)



8. Prélèvement d'EC de la solution nutritive



9. Préparation des traitements



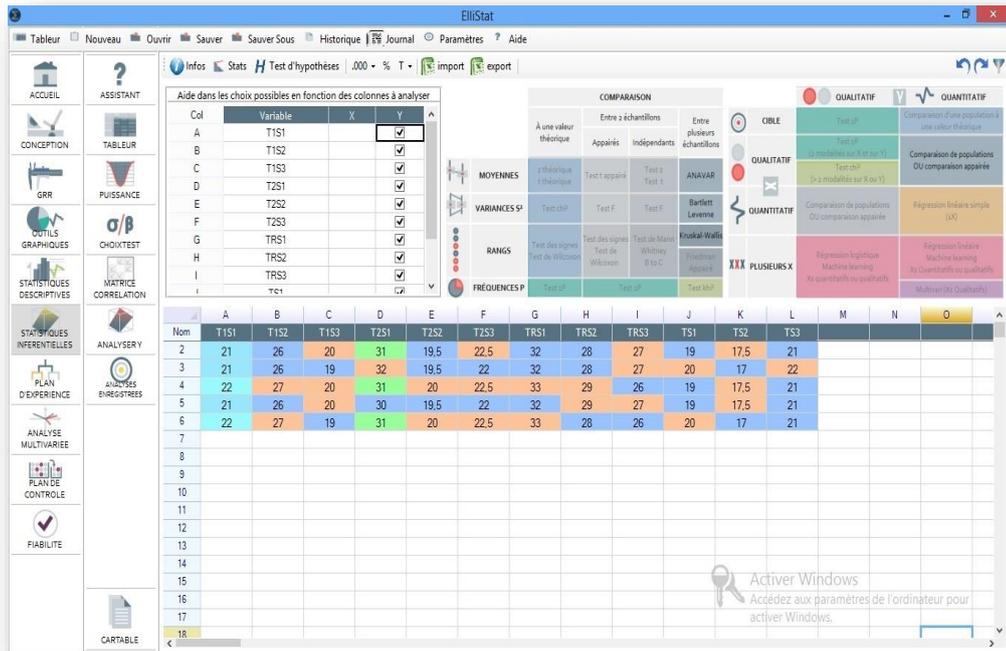
10. Mesure d'EC et pH dans la serre de Karman (SNV)



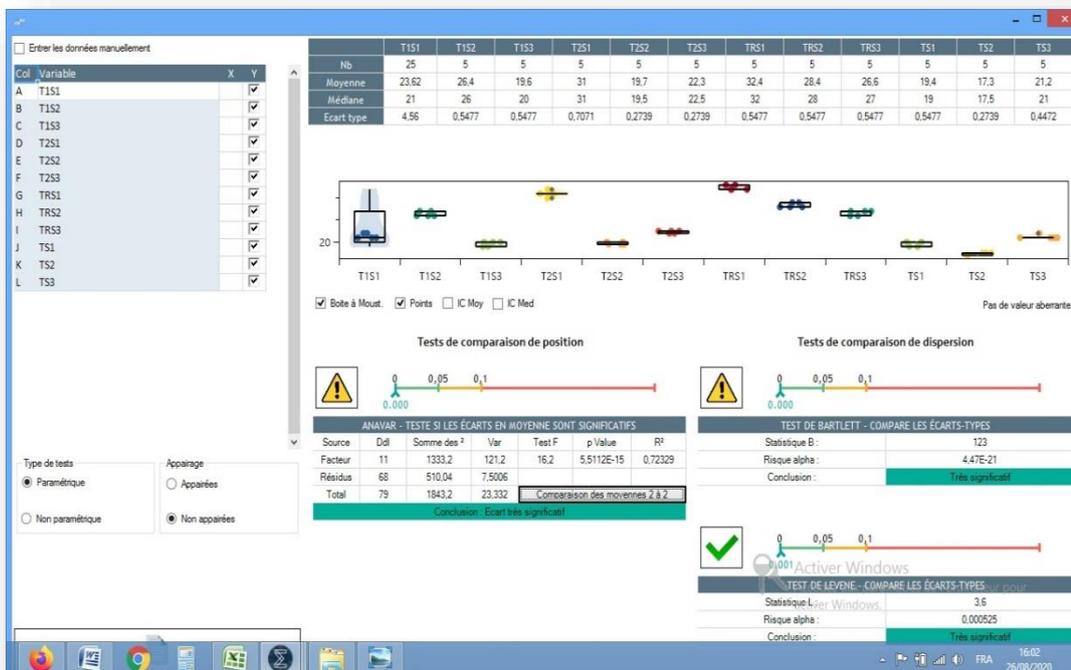
11. Une récolte de fraise (terreau commercial)



12. Vue générale des plantes de fraise sur support (serre : FSNV, Karman) : Floration



13. Ellistat (page d'accueil)



14. Ellistat (Moyenne et Ecart type....)



15. Ellistat (Catégories : A, B, C,....)



16. conductimètre et pH mètre.

Résumé

Notre travail qui a duré 4 mois, on a fait la culture hors sol de la fraise dans des différents traitements à base de trois substrats (pouzzolane, fibre de palmier dattier et terre végétale) ainsi que le quatrième traitement qui est le terreau commercial (TR). Ces traitements ont des compositions différentes (T1, T2 et T3). L'irrigation et le pilotage est toujours fait avec solution nutritives adaptés et riche en macro et oligo-éléments avec trois concentrations différentes (70, 100 et 130 %), bien sûr avec un control continu de pH et EC.

Les résultats et les analyses physico-chimiques et morphologiques obtenus on comparant avec le terreau commercial ont montrés que nos traitements répondent aux exigences des cultures hors sol surtout pour les racines et la fructification. Toutefois, ils peuvent être encore améliorés par la modification des apports des substrats.

Mots clés : Substrat, Traitement, Terreau commercial, pouzzolane, fibre de palmier dattier, terre végétale, physico-chimiques, morphologiques, pilotage, hors sol

ملخص

عملنا هذا استغرق أربعة أشهر، قمنا فيه بزراعة الفراولة بدون تربة في خلطات مختلفة تعتمد على ثلاث مواد (البوزولان، ألياف نخيل التمر والتربة السطحية) وكذلك الخليط الرابع وهو السماد التجاري (TR). هذه العلاجات لها تركيبات مختلفة (T1، T2 و T3). الري وتسيير الزراعة تتم دائماً باستخدام محلول مغذي مناسب غني بالعناصر الصغرى والكبرى وهذا بثلاثة تراكيز مختلفة (70، 100 و 130٪)، بالطبع مع التحكم المستمر في الأس الهيدروجيني pH والناقلية الكهربائية EC .

أظهرت النتائج والتحليلات الفيزيائية والكيميائية والمورفولوجية التي تم الحصول عليها من خلال مقارنتها مع السماد التجاري أن معالجاتنا تلبى متطلبات المحاصيل خارج التربة، خاصة للجذور والثمار. ومع ذلك، يمكن تحسينها عن طريق تعديل نسب المواد الداخلة في تركيبها

الكلمات المفتاحية : المواد أو الركائز، المعالجة، السماد التجاري، البوزولان، ألياف نخيل التمر، التربة السطحية، الفيزيائية والكيميائية، المورفولوجية، تسيير، خارج التربة.